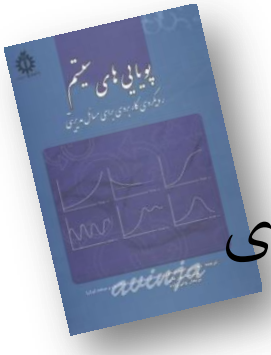
تحلیل پویایی سیستم

روشی برای مدلسازی سیستمهای پیچیده

دکتر صالحی

مراجع

- پویایی شناسی سیستم- جان د.استرمن (ترجمه شهرام میرزایی)
- پویایی های سیستم- سوشیل (ترجمه ابراهیم تیموری)
- سیستم داینامیک (کاربردی از تفکر سیستمی)-شهلا قبادی



سیاست ارزشیابی

- پروژه ۵ نمره تا ۷ نمره
- تمرین ۲ نمره
- میان ترم ٤ نمره
- پایان ترم ۹ نمره

سرفصل مطالب

هفته	عنوان
اول و دوم	مقدمه و ضرورت پویایی سیستم
سوم و چهارم	پویایی شناسی سیستم در عمل
پنجم	مدلسازی و رفتار سیستم های پویا
ششم و هفتم	نمودارهای علّی حلقوی
هشتم و نهم	انباشت ها و جریان ها
دهم	امتحان میانترم-تأخیر در سیستم
یازدهم و الی آخر	مسائل کاربردی

پروژه و گزارش آن

- انتخاب یک موضوع و اعمال متدولوژی پویایی سیستم و شرح آن در کلاس و یا انجام یک پروژه تحقیقاتی
- پروژه را می توانید به صورت یک یا دو نفره انجام دهید.
- دو نمره نیز به صورت مازاد برای پروژه های برتر در نظر گرفته می شود.

فصل اول:
مدلسازی در پویایی سیستم

سیستم چیست؟

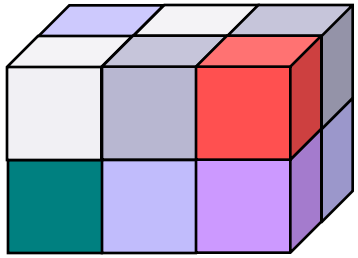
سیستم: مجموعه‌ای که برابر با جمع اجزای خود نیست و به همین دلیل باید به عنوان یک کل مد نظر قرار گیرد.

به همین دلیل تقسیم دنیا به اجزای کوچکتر و بررسی هر قسمت در محدوده خود و در نظرنگرفتن روابط آن با اجزای دیگر موجب گمراهی می‌گردد.

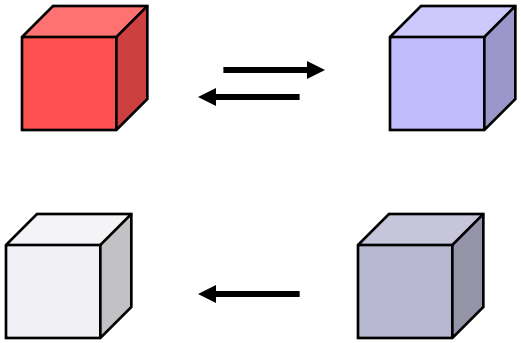
دیدگاه سیستمی یکی از دیدگاهها و منظرها، برای فهم عالم است.

سیستم با ارتباطات پیچیده

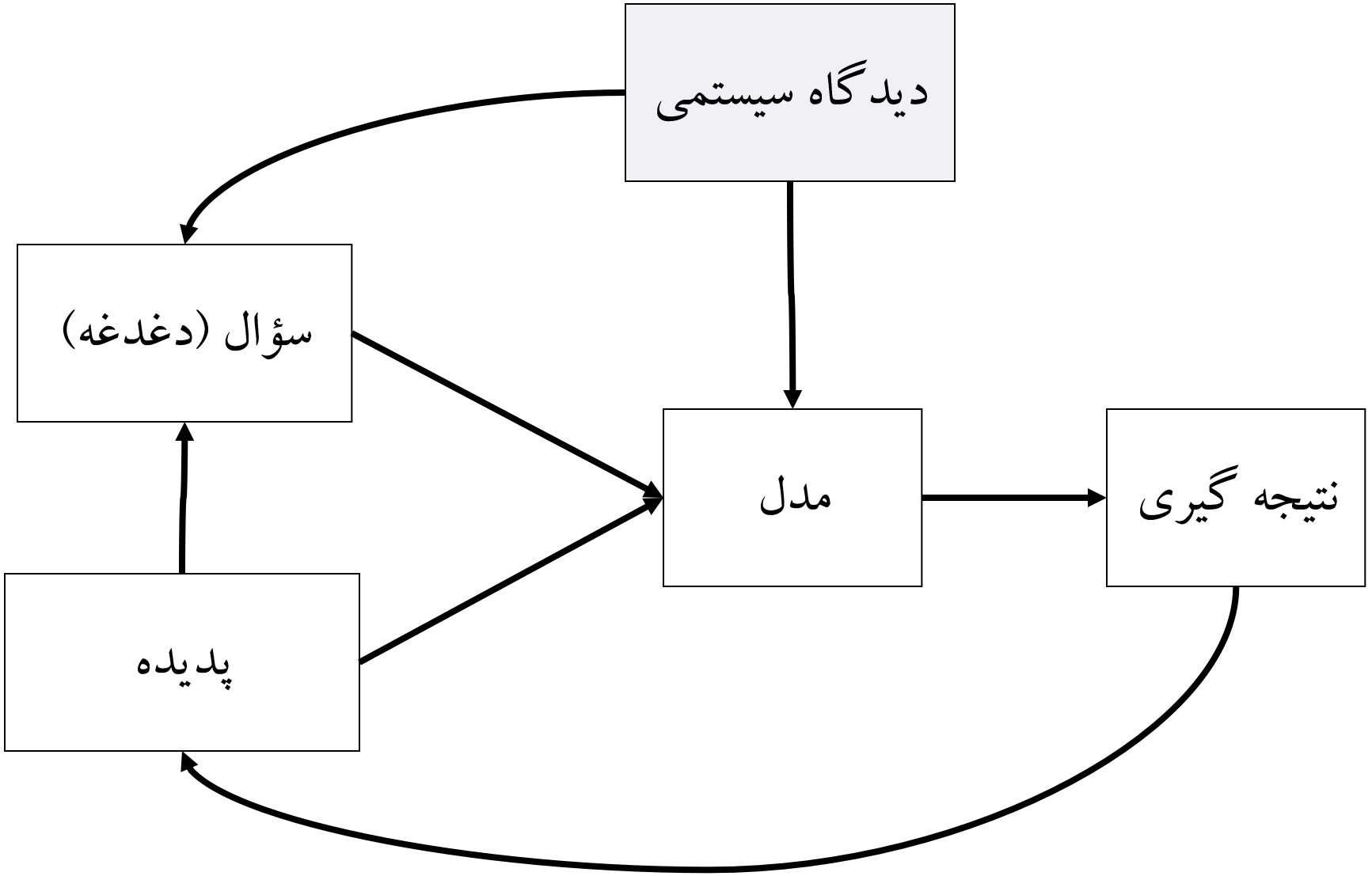
- علوم معمولا ارتباط دو طرفه اجزاء را با نوعی ساده انگاری به دست می‌آورند. بدین صورت که فرض می‌کنند سایر اجزا ثابت بوده و ارتباط بین دو عنصر را بررسی می‌کنند. در یک سیستم که اجزاء ارتباط متقابل دارند این فرض، درست نمی‌باشد و به همین دلیل اقدامات فوق کافی نیست.



f(parts + feedback)



فرآیند مدل‌سازی



مدلسازی

مدل: مدل تصویر ساده شده ای از جهان واقعی است که در حد فهم سازنده آن از واقعیت شکل می گیرد.

مهمترین هدف از مدلسازی، کسب دانش در مورد رفتار سیستم واقعی است. در واقع مدل ابزار مناسبی برای بررسی تصمیمات مختلف و آثار و نتایج حاصل از آنها می باشد.

مدلسازی

معیارهای طبقه بندی مدل ها

- بر اساس نحوه مدلسازی
  - مادی–استفاده در علوم تجربی
  - ذهنی–استفاده در علوم اقتصادی و اجتماعی–پایه ای برای مدلهای ریاضی
  - تشریحی– علوم اجتماعی و سیاسی
  - ریاضی–تعریف دقیق رابطه بین عوامل با استفاده از پارامترها
- بر اساس محتوا
  - علی–مدلهایی مفهومی هستند که روابط درون سیستم را به صورت علی ومعلولی بیان می کنند.
  - توصیفی–مدلهایی که روابط بین پدیده ها را به صورت تجربی بیان می کنند.
- بر اساس نوع کاربرد
  - شبیه سازی–برای درک رفتار سیستم با هدفی مشخص بر اساس روند گذشته مدل می شود.
  - بهینه یابی–حالت مطلوب در سیستم در شرایطی مشخص با توجه به هدف تعیین شده مشخص می شود.
- بر اساس درجه قطعیت پارامترها
  - قطعی– در یک مدل قطعی، متوسط رفتار متغیرها در مشاهدات مختلف، مدل می شود.
  - تصادفی–ساخت مدل بر پایهٔ داده هایی با یک توزیع احتمال مشخص می باشند.
- بر اساس برخورد با زمان
  - ایستا–تصویری از سیستم واقعی در یک نقطه زمانی تهیه می شود
  - پویا–تغییرات سیستم در طول زمان و با کمک معادلات دیفرانسیلی یا معادلات تفاضلی بررسی می شود.

تکنیکهای مدلسازی

- **اقتصادسنجی:** این روش که بر پایه آمار بنا شده است رابطه میان متغیر وابسته و متغیر مستقل را بیان می کند.

$$Y=F(x)+u$$

- **آنالیز سری های زمانی و روندها:** این روش نیز متکی بر آمار می باشد و روند متغیرها را در بستر زمان با چهار جزء روند، فصلی، چرخه اقتصادی و تصادفی مورد بررسی قرار می دهد.

$$Y_t = f(t)$$

- **آنالیز داده– ستاده:** شامل معادلات همزمان دیفرانسیل و یا تفاضلی می باشد که سطوح تعادل همهٔ صنایع را نشان می دهد. به طوریکه میتوان با فرضهای خاص اقتصادی مکمل، پویایی را وارد معادلات کرد.

- **برنامه ریزی ریاضی:** شامل یافتن نقطه بهینه بر اساس یک تابع هدف می باشد که در این تابع متغیر وابسته بوده و متغیرهای مستقل تعیین کننده مقدار تابع هدف می باشند.

$$\max \quad w = f(x,y)$$
$$\textit{subject to} \qquad g(x,y) = c$$
$$x, y \geq 0$$

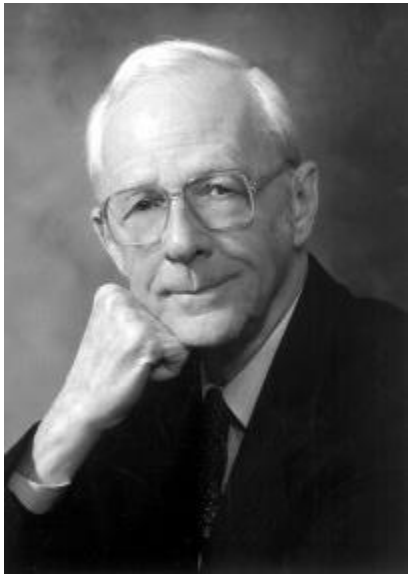
تکنیکهای مدلسازی

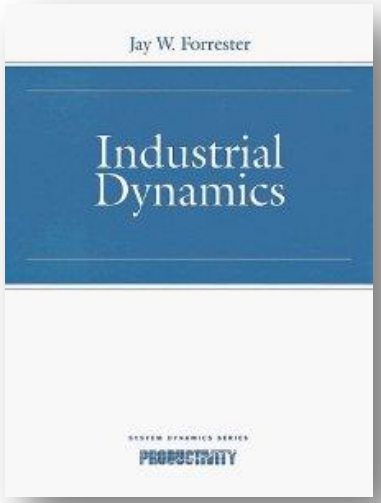
- **برنامه ریزی پویا:** یک روش ریاضی است که برای بهینه یابی فرآیندهای چند مرحله ای که امکان شکستن تصمیمات به اجزاء کوچکتر و ترکیب دوبارهٔ تصمیمات اخیر در فرم جدید برای رسیدن به جواب مطلوب را فراهم می کند.

- **سیستم داینامیک:** این روش بر پایه ساختار مدارکنترلی بنا شده است و امکان مطالعه ساختار و رفتار سیستم های پیچیده اقتصادی، اجتماعی، زیستی و فنی را فراهم می کند. در این روش سیستمهای پیچیده واقعی توسط بازخوردهای متعدد، تأخیر زمانی، ذخیره سازی و از طریق معادلات دیفرانسیل مربوط به هم توصیف می شوند. هدف سیستمهای پویا، پیش بینی کمی آینده نیست بلکه به دنبال دست یافتن به دانش وسیع در مورد ارتباطات دینامیکی متقابل میان سیستم های اجتماعی، اقتصادی، زیستی و فنی می باشد.

تکنیک سیستم داینامیک از نوع مدلهای شبیه سازی است.

SD چیست؟

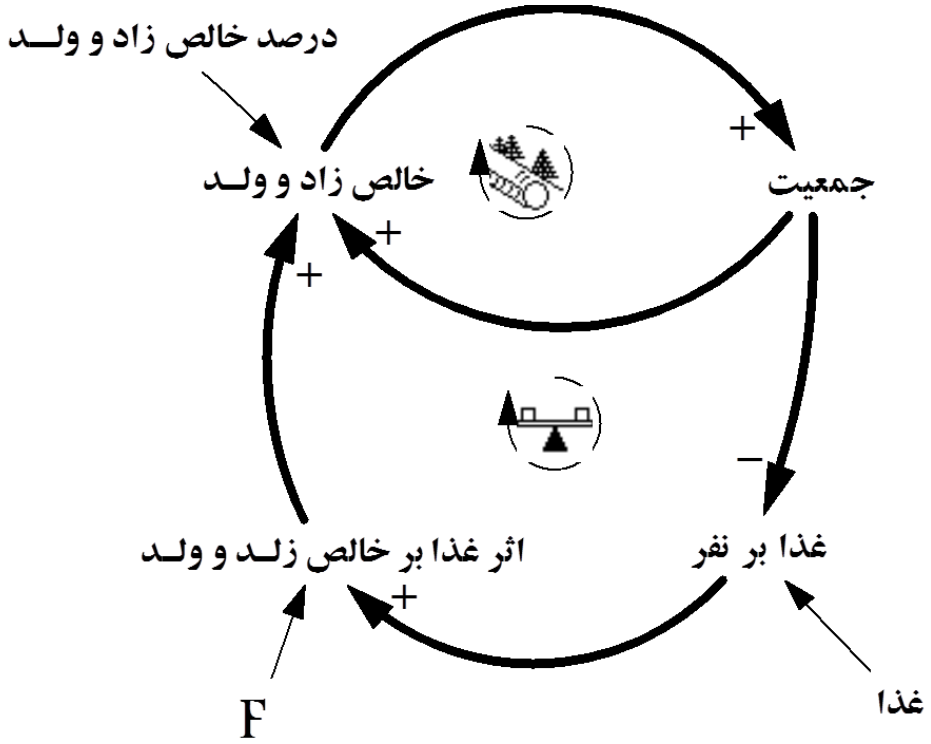


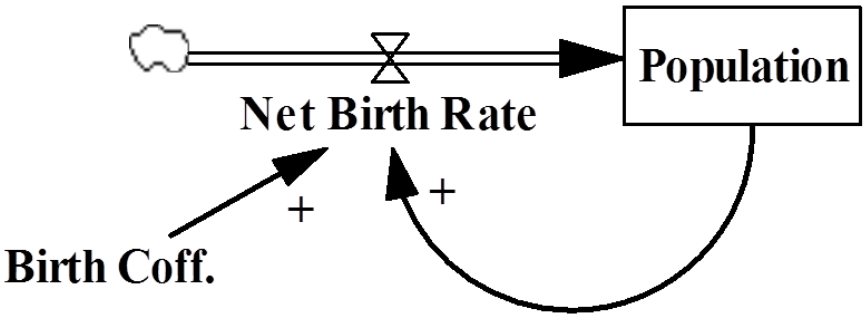


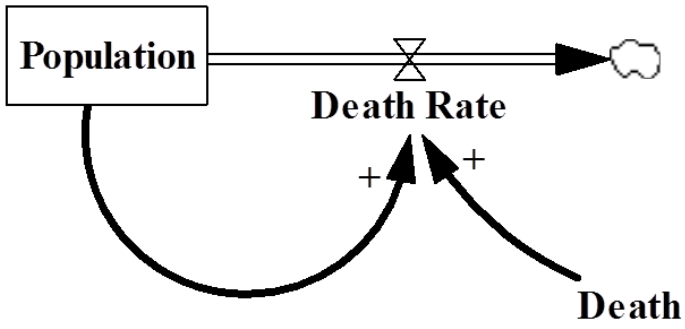
- دینامیک های سیستم (System Dynamics) یکی از دیدهای سیستمیک می‌باشد.

- این روش حدود 40 سال پیش در دانشگاه MIT توسط آقای *فارستر* ابداع گردید.

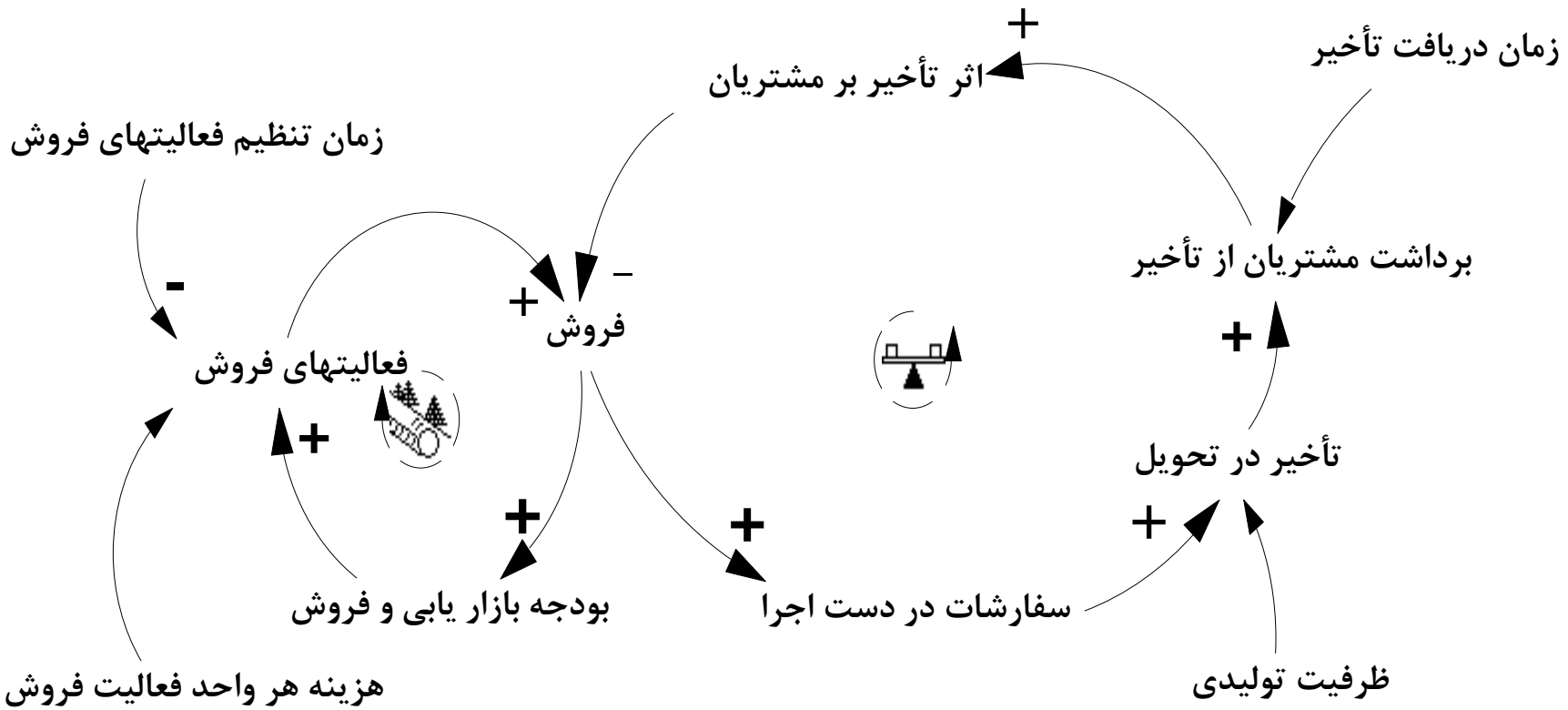
مثال ساده


درصد خالص زاد و ولـد
خالص زاد و ولـد
جمعیت
اثر غذا بر خالص زلـد و ولـد
غذا بر نفر
F
غذا
+
+
+
+
−
+


Population
Net Birth Rate
Birth Coff.
+
+


Population
Death Rate
Death Coff.
+
+

مثال ساده


زمان دریافت تأخیر
اثر تأخیر بر مشتریان
زمان تنظیم فعالیتهای فروش
برداشت مشتریان از تأخیر
فروش
فعالیتهای فروش
تأخیر در تحویل
بودجه بازار یابی و فروش
سفارشات در دست اجرا
هزینه هر واحد فعالیت فروش
ظرفیت تولیدی

فصل دوم:

ساختار و رفتار سیستمهای پویا

مقدمه

- بازخورد: یکی از مفاهیم اساسی در تفکر سیستمی، وجود فیدبک در سیستم است. فیدبک همراه با خصوصیت پویایی رفتار سیستم را می سازد.
- مدل ذهنی: اصطلاح مدل ذهنی باور ما درباره شبکه ای از علت ها و معلول هاست و چگونگی عملکرد سیستم را توضیح می دهد.
- مرز مدل: مشخص کننده متغیرهای تأثیرگذار و بی تأثیر
- افق زمانی : مدت زمانی که علاقمند به تحلیل سیستم خاص هستیم.

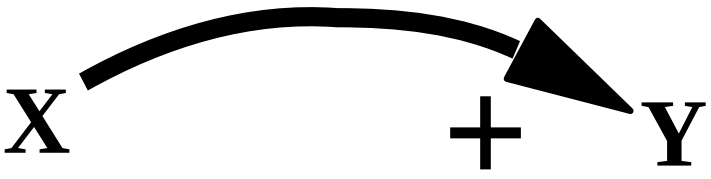
دیاگرام علی-معلولی

- علت اطلاق نام علی-معلولی بر این روش، این است که در نمودار علی-معلولی تاثیر یک جزء از سیستم بررسی می‌شود با این فرض که سایر اجزای سیستم ثابت بماند.

- بنابراین در دیاگرام علی-معلولی، تنها ساختار ارتباطی بین اجزاء ترسیم می‌شود و از دیاگرام علی-معلولی برای درک بهتر ساختار سیستم استفاده می‌شود، نه برای نمایش رفتار سیستم.

علائم دیاگرام علی-معلولی

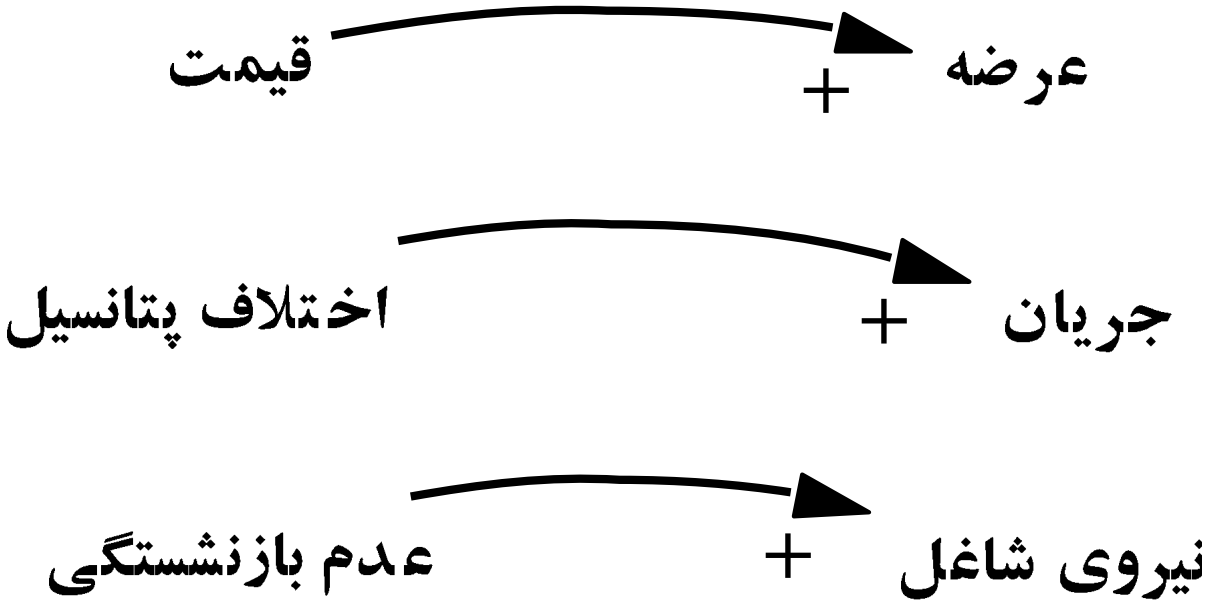
1. لینک مثبت:



با فرض ثابت بودن بقیه متغیرها، اگر متغیر X افزایش (کاهش) داشته باشد، متغیر Y بیشتر (کمتر) از مقداری که داشته است، خواهد شد.

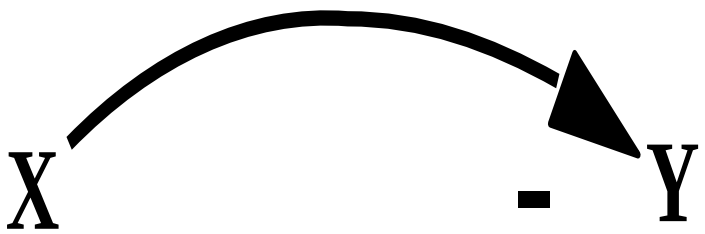
مفهوم ریاضی: $\partial Y / \partial X > 0$

علائم دیاگرام علی-معلولی (ادامه)



علائم دیاگرام علی-معلولی (ادامه)

2. لینک منفی:



با فرض ثابت بودن بقیه متغیرها، اگر متغیر X افزایش (کاهش) داشته باشد، متغیر Y کمتر(بیشتر) از مقداری که داشته است، خواهد شد.

مفهوم ریاضی:

$$\partial Y / \partial X < 0$$

اهمیت نمودارهای علی حلقوی

- ابزای مهم در نمایش ساختار بازخوردی سیستم ها محسوب می‌شوند.
- دلیل به دست آوردن فرضیه های شما در مورد علل پویایی
- استخراج و ایجاد مدل‌های ذهنی افراد یا تیم‌ها
- ارتباط دادن بازخوردهای مهمی که فکر می‌کنید علت یا مسبب بروز مسئله هستند.

نمادسازی نمودارهای علی حلقوی

- متغیرها توسط ارتباط های علی که با خطوط جهت‌دار نشان داده می‌شود به هم مرتبط می‌گردند.
- این علامت‌ها نشان دهنده‌ی این هستند که وقتی متغیر مستقل تغییر می‌یابد در اثر آن در متغیر وابسته چه تغییری رخ می‌دهد.
- توجه کنید که نشانگر حلقه در همان جهتی که خود حلقه می‌چرخد دور می‌زند.

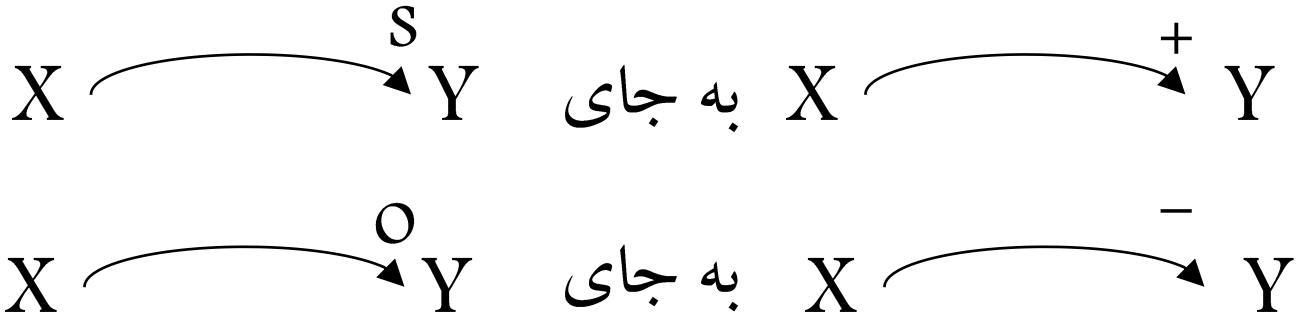
نمادسازی نمودارهای علی حلقوی

- یک ارتباط + به این معناست که وقتی افزایشی/کاهشی در یک علت رخ می‌دهد آن گاه معلول نیز بیشتر/کمتر از آنچه که قبلا بوده است، افزایش/کاهش می‌یابد.
- یک ارتباط منفی بدین معناست که در صورت افزایش علت معلول از مقداری که باید باشد، کاهش می‌یابد و اگر علت کاهش یابد معلول از مقداری که باید باشد، فراتر رفته و افزایش می‌یابد.
- در واقع نمودار علی به شما آنچه را که رخ داده است نشان نمی‌دهد، بلکه بیانگر این خواهد بود که اگر متغیر تغییر کند، چه اتفاقی می‌افتد.

مطالبی در مورد نمادسازی

- قطبیت هر ارتباط علی به جای علامت های + یا – با حروف S یا O مشخص شده بود. (ارتباط همسو یا مخالف)

– ارتباط نشان داده شده با S به معنای این است که X و Y در یک راستا حرکت می‌کنند.

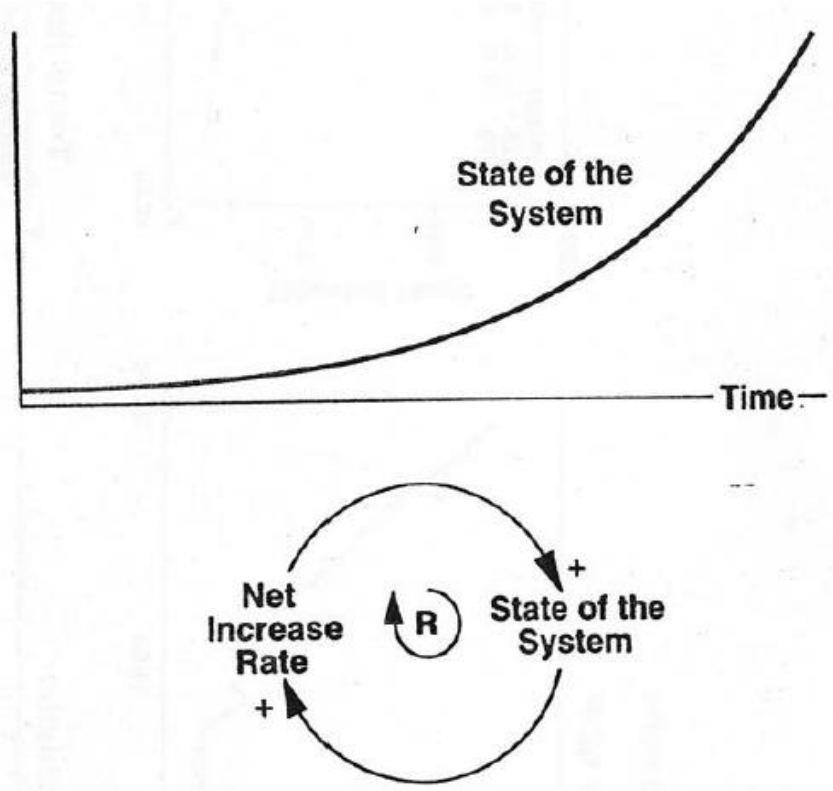


الگوهای اولیه رفتاری

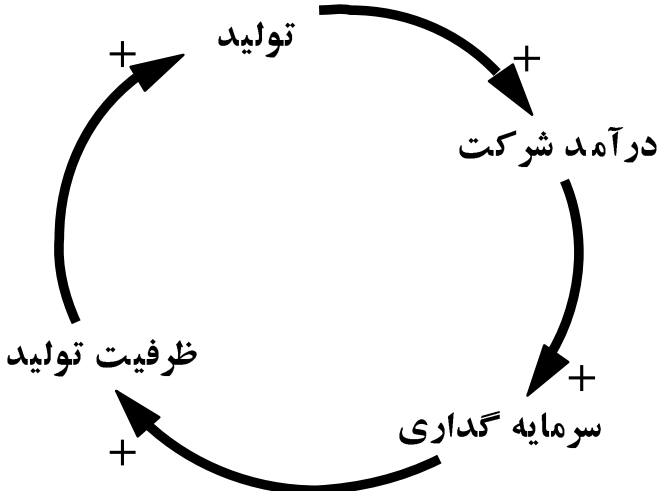
- الگوهای اولیه رفتار در سیستم های پویا توسط ساختارهای بازخورد به وجود آمده سیستم شناخته می شود.
- در این فصل مفهوم الگوهای مرجع برای شرح رفتار پویا و نمودارهای علی حلقوی بعنوان روشی برای نمایش ساختار بازخورد را توضیح خواهیم داد.
- اکثر پویایی ها نمونه هایی معین از الگوهای کوچک مجزا رفتاری همچون رشد نمایی یا نوسانی می باشند.
- هر یک از این رفتارها با یک یا چند حلقه بازخوردی ایجاد می شوند.

رفتارهای مرسوم (1. رشد)

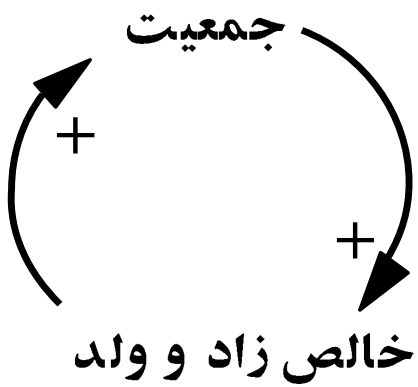
- تقریبا رشد و افزایش متغیر حالت در همه سیستمها وجود دارد. در یک رشد نمایی مدت زمان لازم برای دو برابر شدن متغیر ثابت است. ساده ترین مدل رشد، حلقه فیدبک مثبت درجه ۱ است.



رفتار رشد

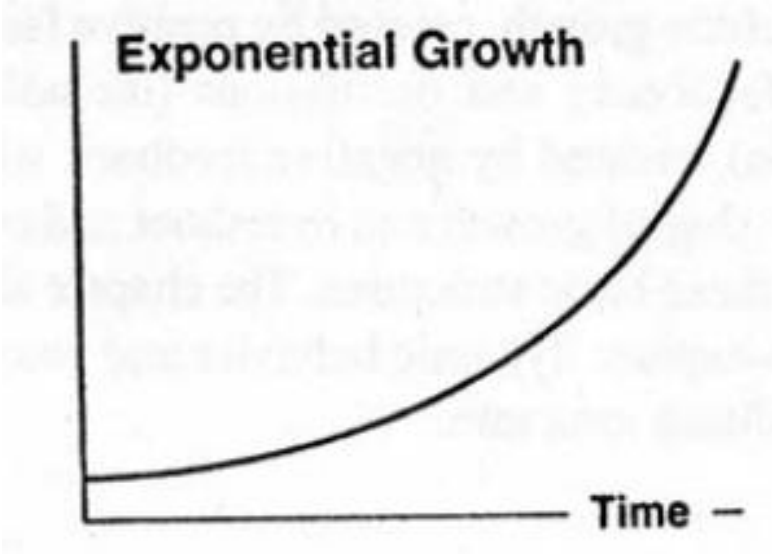


- ساده ترین مدل رشد اقتصادی:



- مدل رشد جمعیت:

- رشد نمایی از بازخورد مثبت (خودتقویت کننده) ناشی می شود.
- افزایش در کمیت، مقدار خالص آن را بیشتر افزایش می دهد و افزایش در کمیت منجر به رشد سریعتری می شود.
- ابتدای نمودار خطی به نظر می رسد در حالی که رشد به صورت نمایی است.



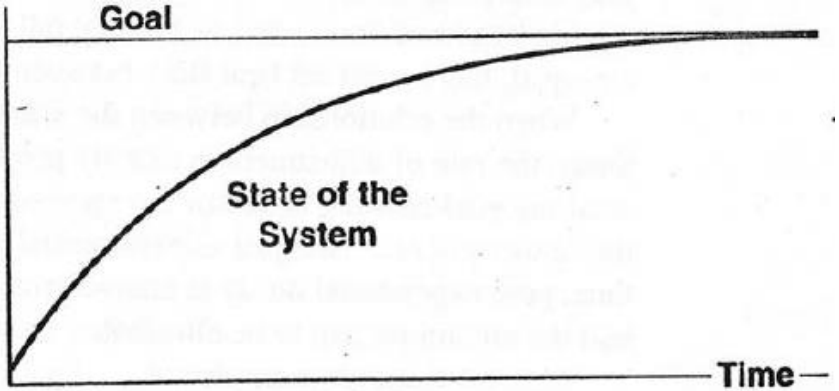
- با سرمایه‌گذاری بیشتر، بهره بیشتری کسب می‌شود. بنابراین تراز پولی شما بالا می‌رود و تراز پولی بدست آمده باعث بهره بیشتر بعدی خواهد شد که همچنان ادامه دارد.
- افزایش جمعیت، باعث افزایش نرخ خالص تولد شده که باعث بیشتر شدن جمعیت می‌شود و این خود تولدهای بیشتر را باعث می‌شود.

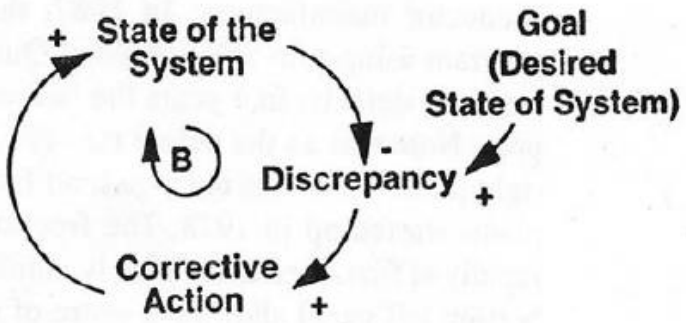
- بازخورد مثبت همیشه به رشد فزاینده نیاز ندارد، همچنین می‌تواند کاهش خود تقویت کننده ایجاد کند.
- به عنوان مثال وقتی قیمت سهام کاهش پیدا می‌کند، اعتماد سرمایه گذاران پایین می‌آید و آنان به فروش بیشتر روی می‌آورند، قیمت پایین آمده و اعتماد همچنان کاهش می‌یابد.

- عامل سنجش میزان رشد نمایی، مدت زمان دو برابر شدن است.
- در مورد فرآیندهای مختلف متفاوت است.
- این سیستم‌ها روند شتاب به وجود آمده از بازخوردهای مثبت را نشان می‌دهد.

2. رفتار هدف جو

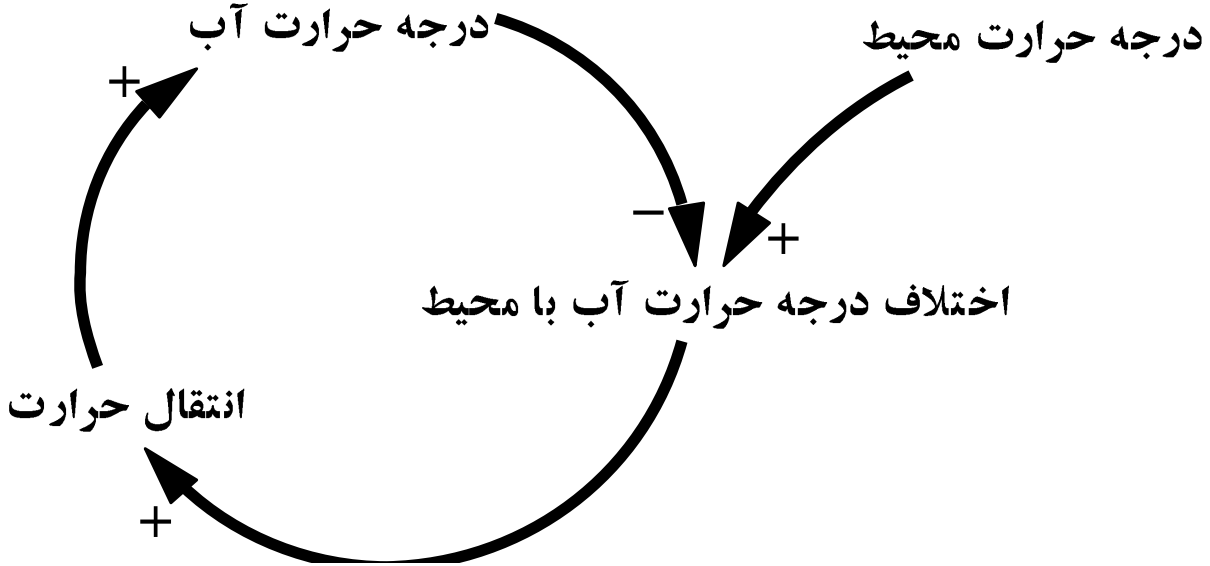
- در رفتار هدف جو، سیستم هدف مشخصی را تعقیب می‌کند و نحوه رسیدن به این هدف در ساده ترین حالت به صورت تابع نمایی می‌باشد. ساده‌ترین مدل برای رفتار هدف جو حلقه فیدبک منفی درجه یک است.





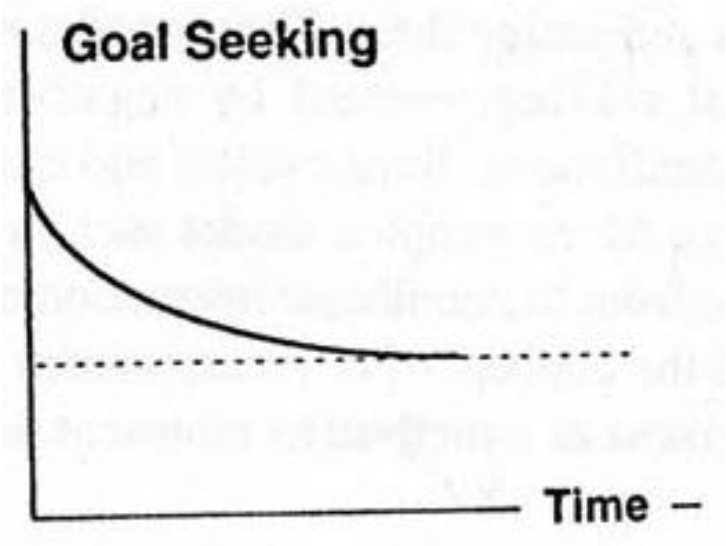
رفتار هدف جو (ادامه)

- در مدار RC، تغییرات ولتاژ خازن منحنی نمایی با توان منفی است. منحنی ولتاژ خازن، هدف رسیدن به سطح ولتاژ معینی را تعقیب می‌کند و بنابراین رفتار ولتاژ خازن، هدف جو است.
- تغییرات دمای لیوان آب:



هدف جو

- حلقه های بازخورد مثبت، باعث ایجاد رشد، توسعه، انحراف و تقویت تغییر می‌شوند.
- حلقه های منفی به دنبال تعادل، توازن و ثبات هستند.
- حلقه های بازخورد منفی، سطح سیستم را در وضعیت مطلوب یا هدف نگه می‌دارد.



رفتار هدف جو (ادامه)

- در برخی مواقع مقدار هدف روشن و تحت کنترل تصمیم گیر است مانند سطح مطلوب موجودی و در برخی مواقع شفاف و تحت کنترل آگاهانه نیست مانند میزان استراحت مورد نیاز جهت رفع خستگی

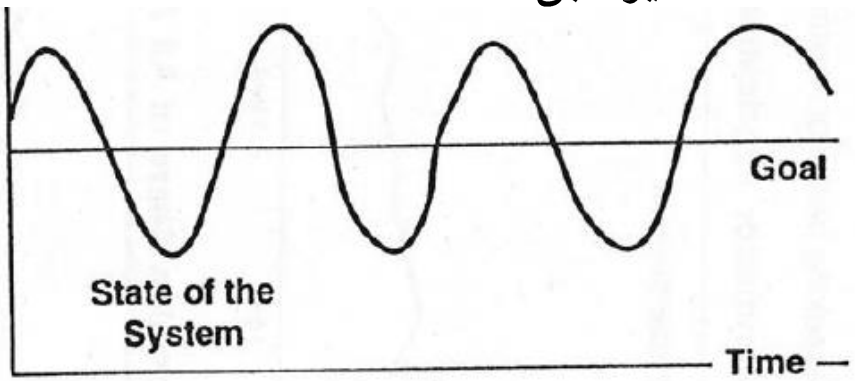
- بازخورد منفی سعی در ایجاد تعادل در سیستم و رساندن متغیر حالت آن به یک مقدار مطلوب دارد. در رفتار هدفجو مقدار فعلی متغیر حالت با مقدار مطلوب مقایسه شده و در صورت اختلاف، سیستم به گونه ای عمل می کند که اختلاف فوق رفع گردد.

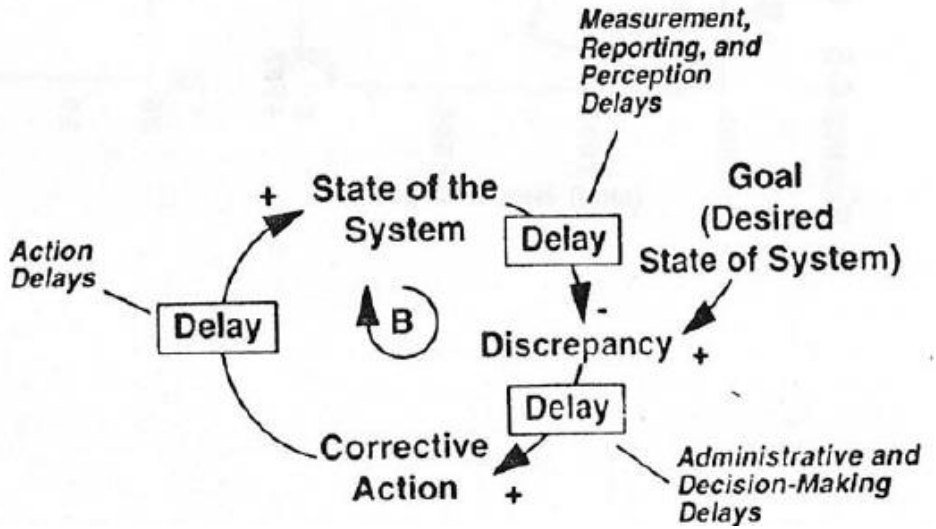
رفتار هدف جو (ادامه)

- در این حالت میزان تغییرات سیستم تابعی خطی از اختلاف وضعیت سیستم با مقدار مطلوب است. در رفتار هدفجو نیز مانند رفتار رشد نمایی مدت زمان لازم برای نصف شدن یا دو برابر شدن متغیر حالت همواره در هر نقطه از منحنی ثابت است.

3. رفتار نوسانی

- مانند رفتار هدفجو از یک بازخورد منفی حاصل می شود. با این تفاوت که این بازخورد منفی دارای زمان تأخیر قابل ملاحظه ای است.



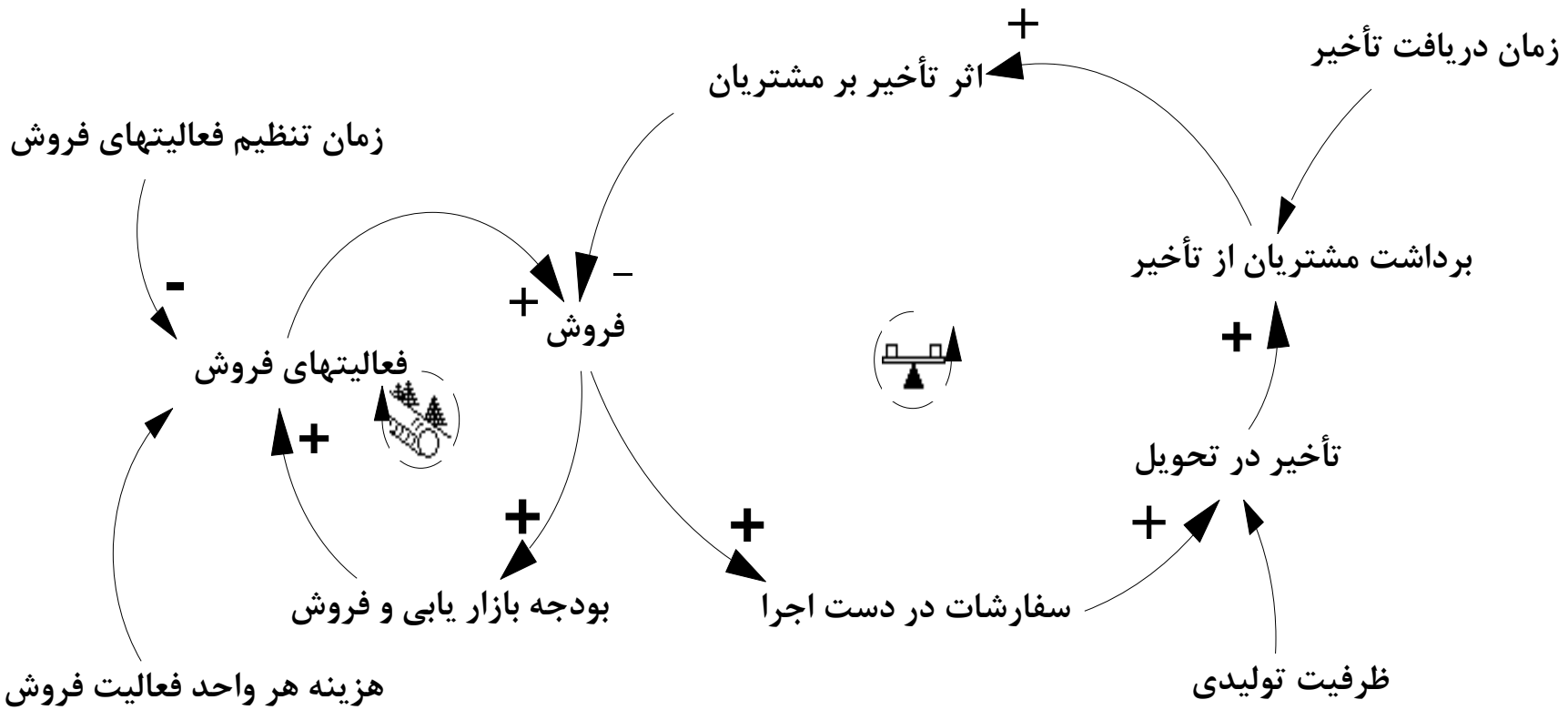


رفتار نوسانی (ادامه)

- علت رفتار نوسانی بدین ترتیب است که بدلیل وجود تأخیر در قسمتهای مختلف بازخورد نظیر تأخیر در دریافت اطلاعات درباره وضعیت فعلی متغیر حالت و یا تأخیر در اعمال تصمیمات در سیستم، مقدار متغیر بیش از حالت تعادل می شود سپس تصمیم اتخاذ شده اعمال شده و مقدار متغیر را بیش از مقدار تعادل کاهش می دهد بنابراین با تأخیر وضعیت فوق درک شده و در نتیجه تصمیم دیگری مبنی بر افزایش مقدار متغیر اتخاذ می شود و به همین ترتیب این چرخه تکرار می شود.

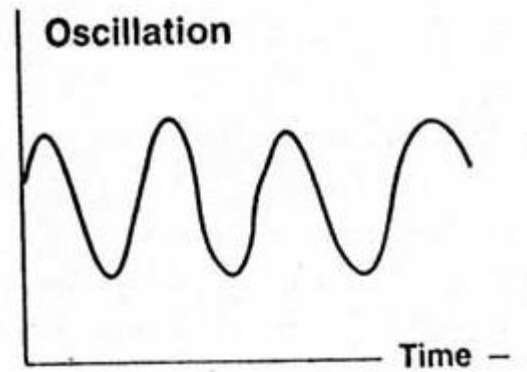
رفتار نوسانی (ادامه)

- **رشد فروش با ظرفیت محدود:**



نوسان

- نوسان ها به مانند رفتار هدف‌جو، توسط حلقه‌های بازخورد منفی ایجاد می‌شوند.
- سطح سیستم نسبت به هدف خود مقایسه می‌شود و اقدام‌های اصلاحی به منظور حذف اختلافات اعمال می‌گردند.
- در یک سیستم نوسانی، سطح سیستم دائما به سمت هدف یا سطح تعادل جهش می‌کند، سپس به طور معکوس به سمت پایین هدف جهش می‌کند و الی آخر.



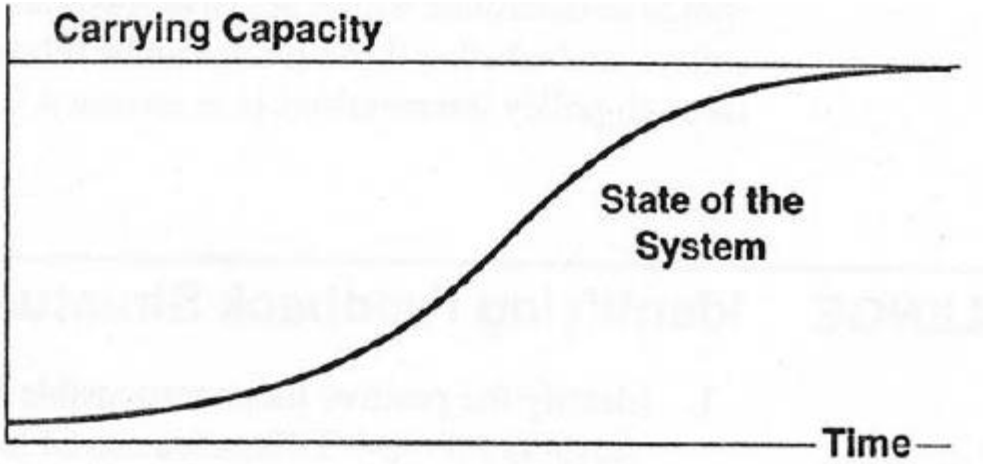
رابطه رفتار و ساختار

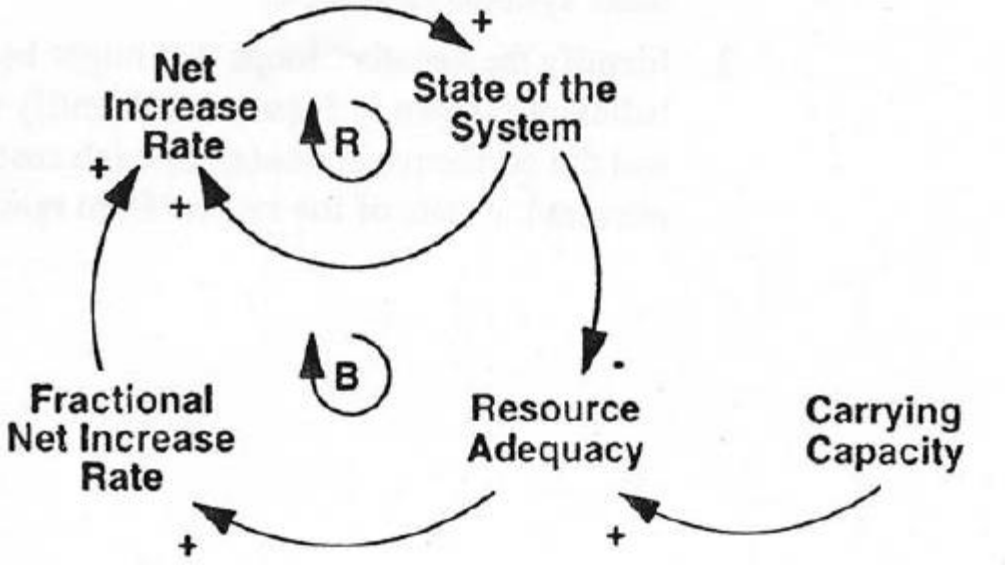
- وجود ارتباط بین ساختار و رفتار ما را در شناخت ساختار سیستمها با مشاهده رفتار آنها کمک می کند.
- به عنوان مثال با مشاهده رفتار رشد نمایی در سیستم می توان نتیجه گرفت که در سیستم فوق حداقل یک بازخورد مثبت وجود دارد. البته امکان وجود بازخورد منفی نیز است ولی بازخورد غالب در این سیستم بازخورد مثبت است.
- با یقین نمی توان در رابطه با میزان تأثیر هر یک از حلقه های بازخوردی اظهار نظر نمود مگر درصورت وجود داده های مناسب و یا مدل شبیه سازی شده.

4. رفتار S شکل یا لوجستیکی

- سه رفتار پایه رشد نمایی، هدفجو و نوسانی بواسطه سه ساختار ساده بازخورد مثبت، منفی و منفی همراه با تأخیر صورت می گیرد. سایر رفتارهای پیچیده از ترکیب غیرخطی بین سه ساختار ساده فوق تشکیل شده است.
- هیچ فرآیندی نیست که تا بی نهایت به رشد خود ادامه دهد، بدون آنکه با عوامل محدودکننده ای مواجه نباشد. مکانیزم کلی محدود کننده رشد یک پس خوران منفی است. اگر محدودیت بدون تأخیر اثر بگذارد در آن صورت رشد به صورت منحنی لجستیک خواهد شد.

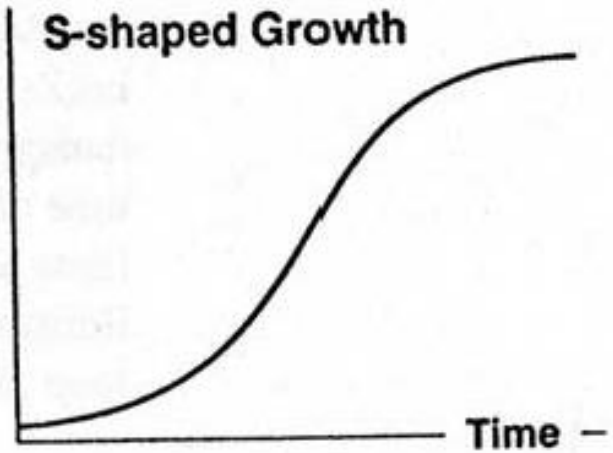
رفتار لجستیکی (ادامه)

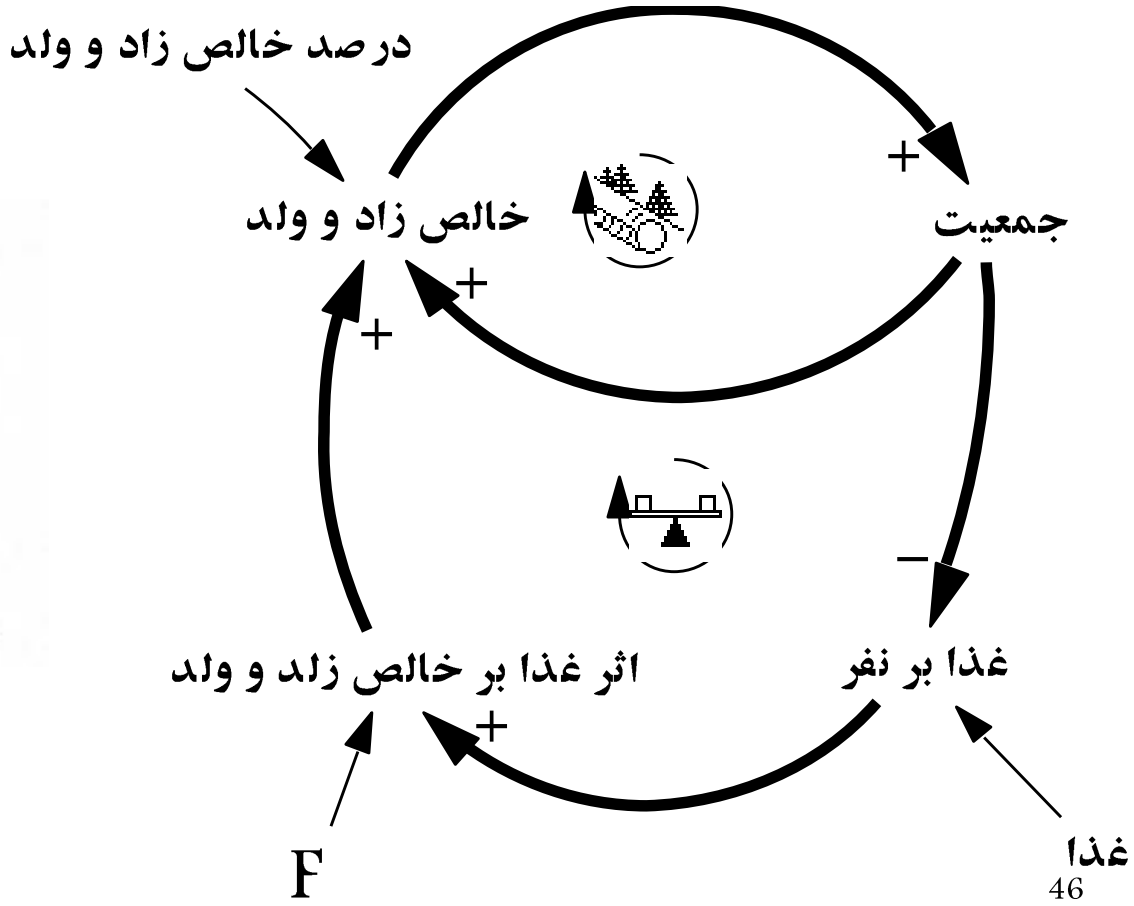




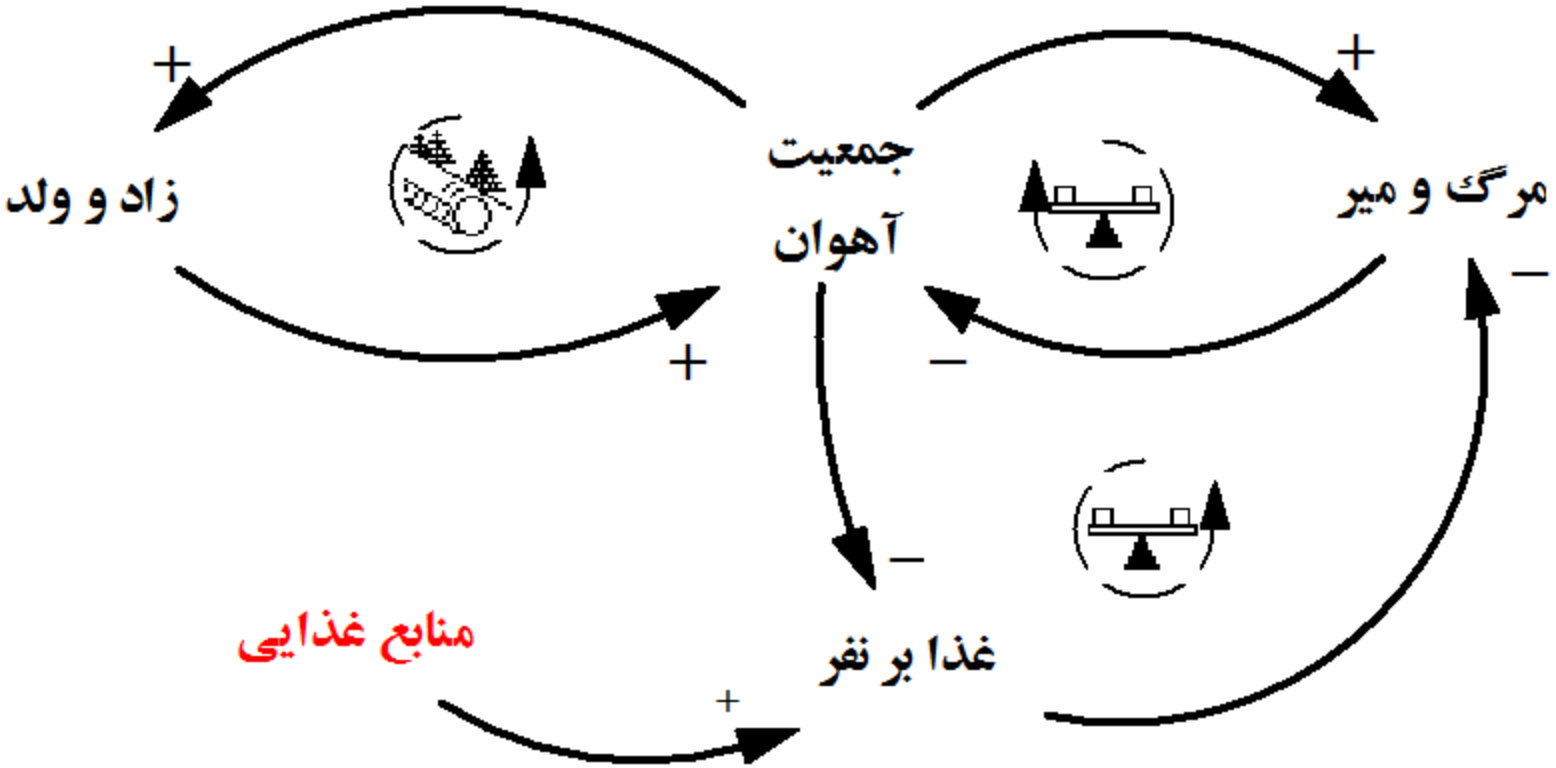
رفتار لجستیکی (ادامه)

- محدودیت رشد جمعیت:





- محدودیت رشد جمعیت آهوان:



رشد S شکل

- برای درک ساختار S شکل استفاده از مفهوم زیست محیطی ظرفیت انتقال مفید است.
- ظرفیت انتقال هر زیستگاهی تعداد موجودات از نوع خاصی است که می‌توان پشتیبانی کرد و به وسیله‌ی منابع در دسترس محیط و منبع نیازمندی‌های جمعیت به دست می‌آید.

رشد S شکل

- همچنان که این جمعیت به ظرفیت انتقال خود نزدیک می‌شود منابع سرانه نابود می‌شود و متعاقب آن نرخ نسبی رشد خالص کاهش می‌یابد تا زمانی که منابع سرانه کافی برای توازن بخشیدن به مرگ و میرها و زاد و ولدها وجود داشته باشد که در این نقطه رشد خالص صفر است و جمعیت به توازن می‌رسد.

رشد S شکل

- تمام سازمان‌ها و شرکت‌ها در بافت بازار، جامعه و محیط فیزیکی رشد می‌کنند که این خود محدودیت‌هایی برای رشد آن‌ها تحمیل می‌کند.
- وقتی یک سیستم رشد S شکل را ایجاد می‌کند که فقط دو شرط اساسی را داشته باشد:

–حلقه‌های بازخورد منفی نباید شامل تاخیر زمانی معناداری باشد.

– ظرفیت انتقال باید ثابت باشد.

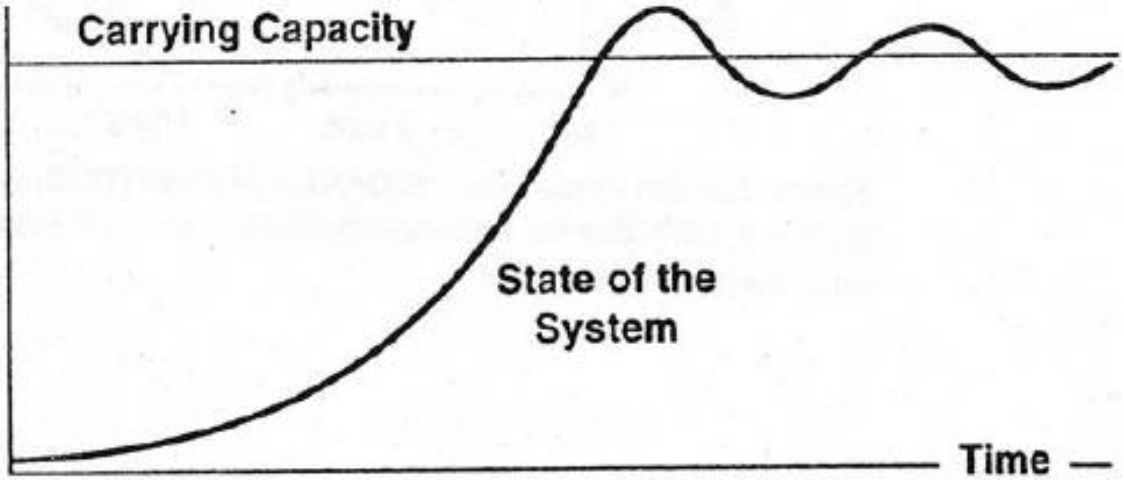
رشد S شکل

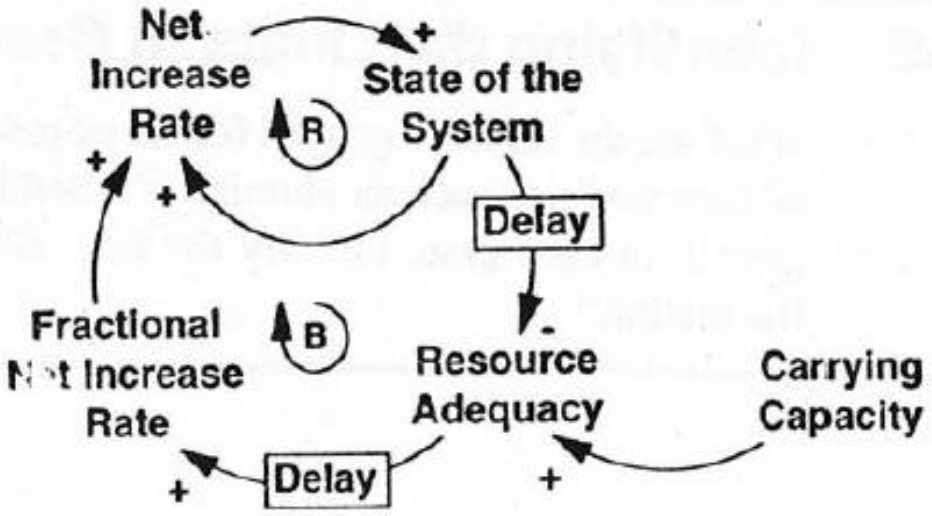
- یک جنبه کلیدی ایجاد ساختار رشد S شکل، این است که تعامل بین حلقه‌های مثبت و منفی غیرخطی باشند.
- نقطه عطف در منحنی، نقطه ای است که سیستم هنوز در حال رشد است. از حالت شتابان به حالت نزولی تغییر مسیر می‌دهد. نقطه‌ی عطف نشانگر نقطه‌ای است که تغییر در حلقه حاکم به وجود آمده است.

5. رشد S شکل همراه با Overshoot

- رشد S شکل نیاز به بازخوردی منفی دارد تا رشد نمایی سیستم را محدود کند. درصورتی که بازخورد منفی دارای زمان تأخیر قابل ملاحظه ای باشد، سیستم ابتدا دارای رشد نمایی است و با فعال شدن بازخورد منفی نرخ رشد کاهش می یابد ولی با توجه به اینکه بازخورد منفی با تأخیر عمل می کند لذا مقدار متغیر حالت از حالت تعادل بیشتر شده و سپس با فعال شدن بازخورد منفی مجدداً کاهش یافته و حول مقدار تعادل بصورت نوسانی رفتار می کند.

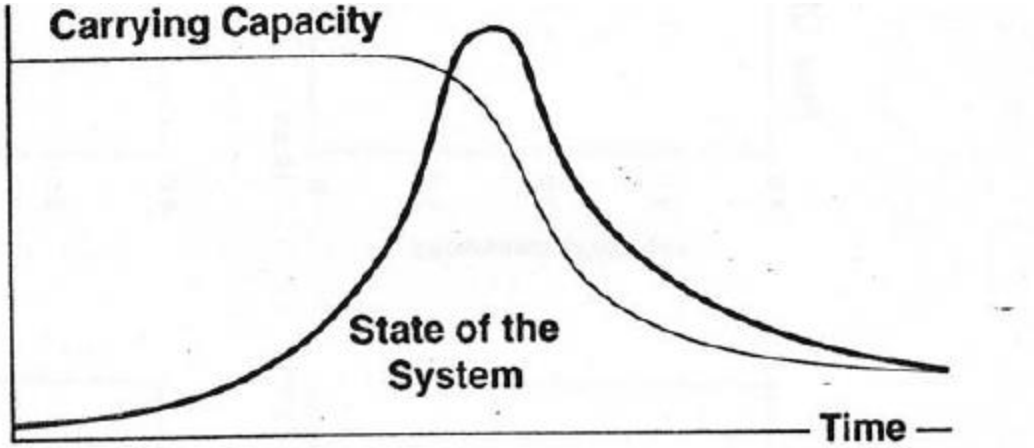
رشد S شکل همراه با Overshoot

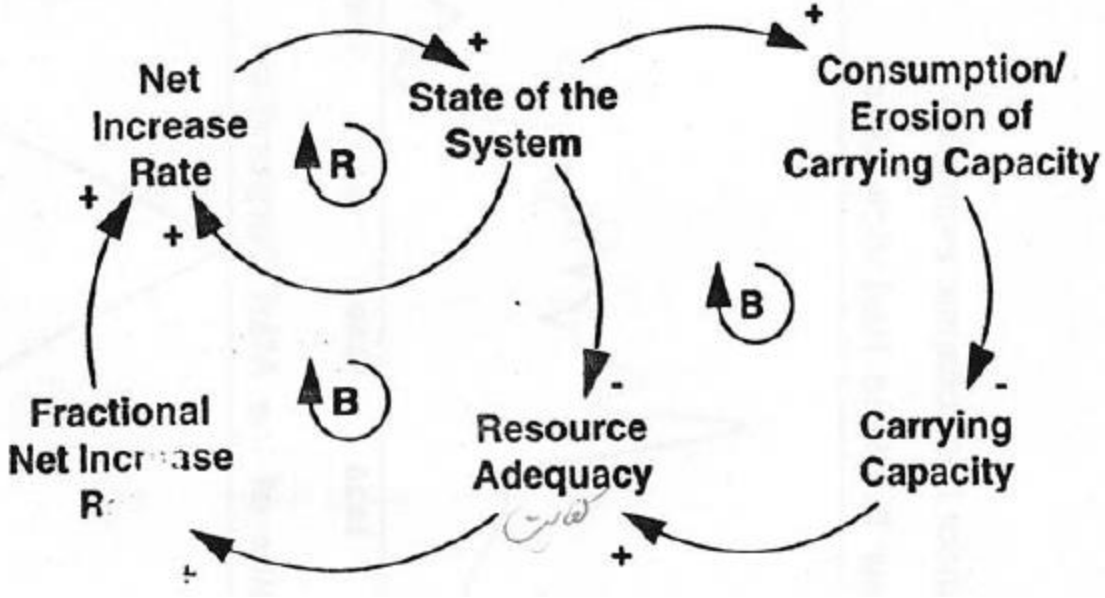




6. رفتار رشد بیش از حد و سقوط

- در رفتار S شکل فرض دوم، ثابت بودن سطح منابع محدود کننده رشد بود. در برخی مواقع رشد سیستم منجر به از بین رفتن و کاهش سطح کل منابع نیز می شود. بدین ترتیب رشد سیستم دارای دو تأثیر عمده خواهد بود: اولاً سرانه منبع کاهش می یابد و ثانیاً سطح کل منبع کاهش خواهد یافت. به عنوان مثال رشد جمعیت آهوها در یک منطقه حفاظت شده منجر به از بین رفتن مراتع آن منطقه خواهد شد.


Carrying Capacity
State of the System
Time


Net Increase Rate
State of the System
Consumption/ Erosion of Carrying Capacity
R
B
B
Fractional Net Increase R
Resource Adequacy
Carrying Capacity
+
+
+
+
+
+
-
-

سایر حالات رفتار

تعادل: پایداری و ثبات نیز در سیستمها ممکن است وجود داشته باشد چراکه در برخی موارد اثرات دینامیک به قدری کند و آهسته می باشند که تغییرات سیستم نامحسوس خواهد بود. در حالت دیگر بدلیل وجود حلقه های بازخوردی قوی منفی در سیستم مقدار سیستم در اطراف حالت مطلوب نگه داشته شده باشد. در رابطه با حالت اول می توان به شکل گیری کوهها اشاره نمود و برای حالت دوم به جاذبه زمین اشاره کرد که اشیاء را به سمت خود می کشد.

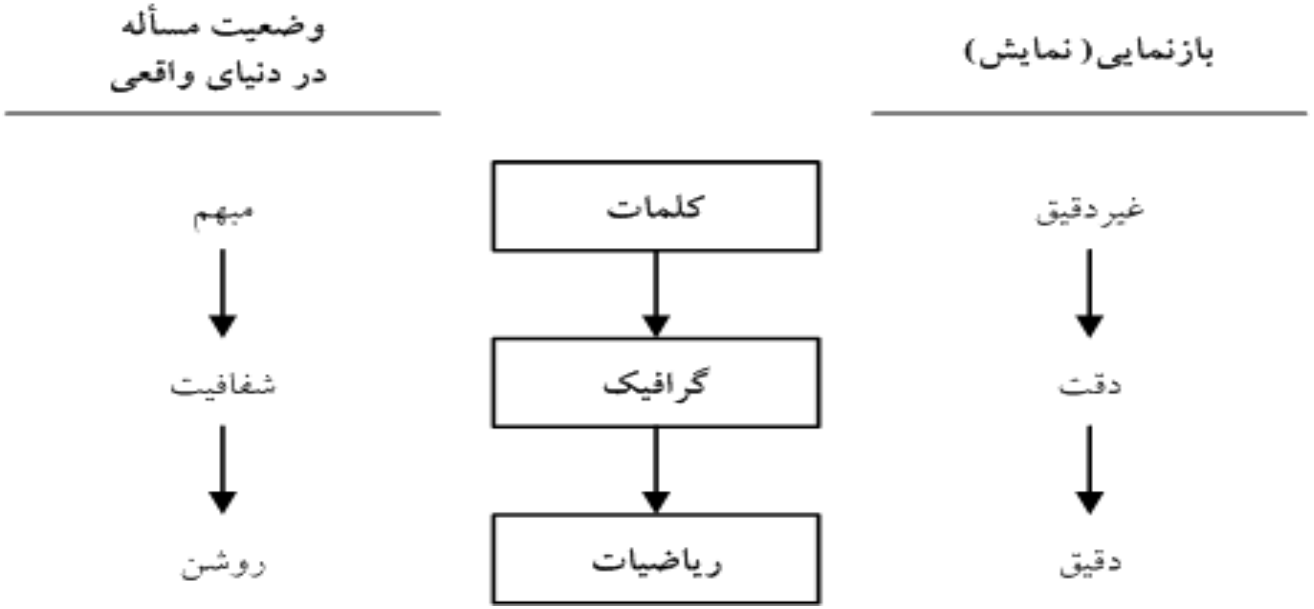
فصل سوم:

اجزای سازنده

پویایی سیستم

مدل پویایی‌های سیستم

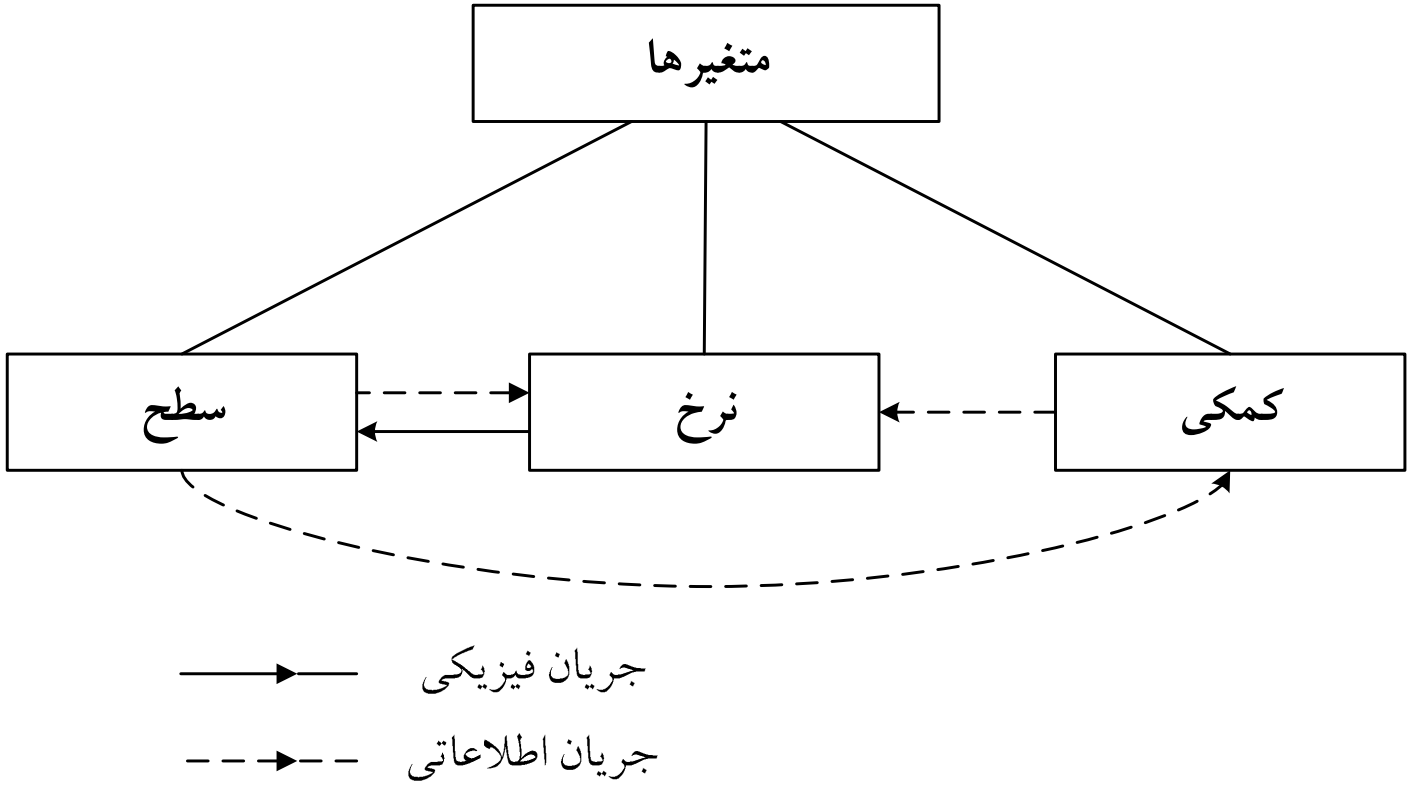
- مدل پوياييهای سیستم، همانند هر مدل دیگر نمایشی از سیستمِ دنیای واقعی به منظور مطالعهٔ رفتار سیستم، تحت شرایط آزمایشی مخلتف است.
- این مدل از هر سه شیوه‌ی معمولِ ارتباطی یعنی کلمات، گرافیک و ریاضیات، برای نمایش سیستم بهره می‌گیرد.



اجزای سازنده مدل‌های پویایی‌های سیستم

- متغیرها
- ابزارهای نموداری
- معادلات
- ساختار بازخوری و رفتار پویا
- تأخیرها

ماهیت متغیرها



ماهیت متغیرها- متغیر حالت

- متغیر حالت (سطح): اساسا انباشت یا انتگرال جریان در طول زمان را بازنمایی می کند.
- مقادیر متغیرهای حالت، وضعیت سیستم را برای تصمیم گیری معلوم می‌کند و به همین علت است که تصمیمات مدیران باید مطابق با وضعیت سیستم تغییر پیدا کند.
- این متغیرها شامل:

سطوح فیزیکی: مواد، پول، نیروی انسانی، سفارشات

سطوح اطلاعاتی: زمانی که از یک جریان فیزیکی در طول یک دوره زمانی میانگین گرفته می شود این مقدار یک سطح اطلاعاتی را بازنمایی می کند. متغیر متوسط فروش یک متغیر سطح اطلاعاتی است.

این متغیرها تحت تاثیر متغیرهای نرخ هستند و سیستم یا متغیرهای نرخ را از طریق بازخوردهای اطلاعاتی کنترل می کنند.

متغیر سطح

☑متغیرهای سطح انباشت و یا تجمیع یک جریان در طول زمان را نشان می‌دهند.

☑متغیرهای سطح را می‌توان در هر نقطه از زمان اندازه‌گیری کرد.

☑اصولاً در یک سیستم با توجه به نوع زیر سیستم که می تواند فیزیکی و یا اطلاعاتی باشد، دو نوع متغیر سطح وجود دارد.

☑زیر سیستم فیزیکی با جریان منابع فیزیکی مرتبط است، مانند مواد، پول، نیروی انسانی، سفارشات و ... .

زمانی که این جریان‌ها انباشته می‌شوند، مبین« سطوح فیزیکی» هستند.

متغیر نرخ

- متغیرهای حالت، توسط مشتقات آنها تغییر می‌یابند و در حقیقت با میزان تغییرات متغیرهای حالت، مقدار متغیرهای نرخ معلوم می‌شود و با مشخص شدن مقدار متغیرهای نرخ، مقدار متغیرهای حالت در زمان بعدی معلوم می‌شود.

متغیر نرخ

☑متغیرهای نرخ در یک سیستم همان «متغیرهای تصمیم» هستند که توسط ساختار سیاست‌ها و استراتژی‌های سیستم تعیین می‌شوند.

☑متغیرهای نرخ به صورت جریان‌های ورودی و خروجی یک متغیر سطح هستند و بنابراین تصمیمی‌که در قالب متغیرهای نرخ اتخاذ می‌شود، متغیرهای سطح و یا اطلاعات در مورد سیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

☑ متغیرهای نرخ را نمی‌توان در یک لحظه از زمان اندازه‌گیری کرد و باید مقدار آنها را در یک بازهٔ زمانی مشخص اندازه‌گیری کرد.

متغیر کمکی

- این متغیرها از لحاظ تئوری ، اختیاری هستند.
- متغیرهای کمکی ساختار ظریف و دقیق سیاست‌ها را تعریف می‌کنند.
- بعبارت دیگر، ارتباطاتی که معرف یک متغیر نرخ هستند، با متغیرهای کمکی بصورت دقیق و با جزئیات کامل نمایش داده می‌شوند.
- اگر این متغیرها حذف شوند، جزئیات ساختار سیاست‌ها در مدل، بصری و شفاف نخواهد بود. بنابراین، متغیرهای کمکی باعث می‌شوند که مدل پویایی‌های سیستم قابل فهم‌تر گردند.

متغیر حالت و نرخ

- متغیرهای حالت حاصل انتگرال از متغیرهای نرخ می‌باشد و نرخ خالص ورودی به متغیر حالت (نرخ ورودی منهای نرخ خروجی)، نرخ تغییرات متغیر حالت را معلوم می کند.

$$Stock(t) = \int_{t_0}^{t} [Inflow(s) - Outflow(s)]ds + Stock(t_0)$$

$$d(Stock)/dt = Inflow(t) - Outflow(t)$$

شناسایی متغیر حالت و نرخ

- هر متغیری که در زمان مشخصی قابل اندازه گیری باشد، متغیر حالت است.
- متغیرهای نرخ، نشان دهنده تغییرات در طول زمان است و در نتیجه با صفر کردن طول زمان (ثابت کردن زمان) قابل اندازه گیری نیستند.
- با توجه به تعریف متغیرهای حالت و نرخ، واحد متغیر نرخ همان واحد متغیر حالت است تقسیم بر زمان.

مثال حالت و نرخ

- مثالی از متغیرهای حالت در حوزه اقتصاد عبارتند از:

موجودی در بانک، موجودی در انبار، دارایی‌های ثابت (ساختمان، ماشین آلات و...)، بدهی‌ها، حقوق صاحبان سهام و....

- مثالی از متغیرهای نرخ در حوزه اقتصاد عبارتند از:

تولید، فروش، استخدام و اخراج کارکنان، تورم و...

تمرین

- تعیین کنید متغیر مورد نظر یک متغیر نرخ است یا حالت. اگر تشخیص شما متغیر نرخ است متغیر حالت متناظر و اگر تشخیص شما متغیر حالت است متغیر نرخ متناظر را مشخص کنید. برای کلیه متغیرها واحد اندازه‌گیری مناسب را ذکر کنید.
- **تولید ملی، سهم بازار یک کالا، نرخ بهره بانک، فرسایش خاک، طرفداران یک شخصیت سیاسی، زمین های زیر کشت، دانش ریاضی یک دانشجو، نفرت از یک محصول خاص، قیمت یک محصول، کیفیت یک محصول، مصرف برق، انرژی پتانسیل یک جسم**

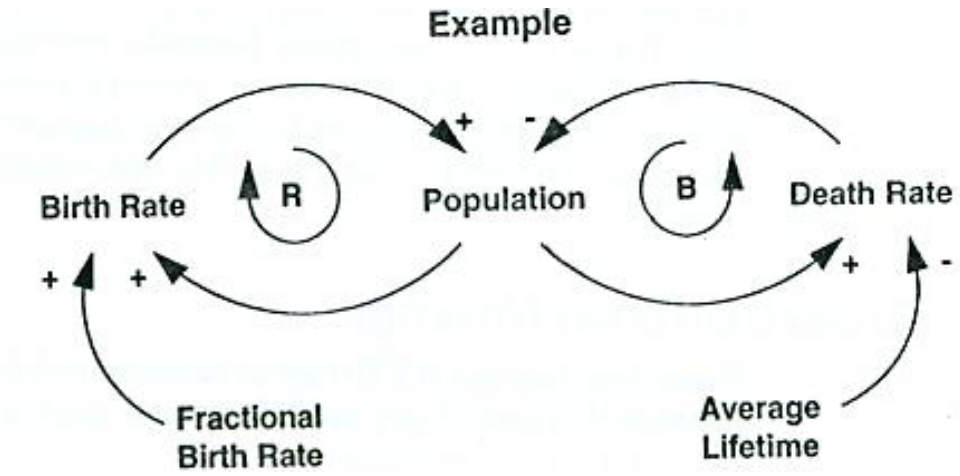
ابزارهای نموداری

ابزارهای نموداری برای بیان ساختار علت و معلولی و همچنین ساختار بازخوری علت و معلولی سیستم به کار می‌روند:

- ✓ نمودار زیر سیستم (Sub-system Diagram)
- ✓ نمودار حلقهٔ علّی (Causal Loop Diagram)
- ✓ نمودار ساختار سیاست (Policy Structure Diagram)
- ✓ نمودار جریان (Flow Diagram)

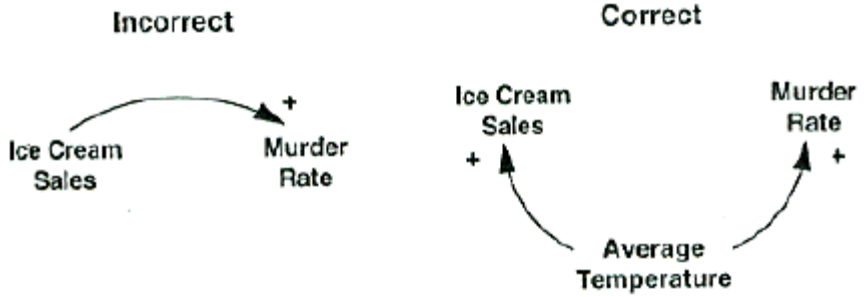
نمودارهای علی و معلولی

- نمودارهای علی و معلولی یکی از مهمترین ابزارها در ترسیم ساختار بازخوردی سیستم می باشند.
- برای تعیین علامت رابطه علی فرض بر آن است که سایر متغیرها ثابت بوده و هدف بررسی اثر تغییرات متغیر مستقل بر متغیر وابسته است.
- از ترکیب روابط علی و معلولی در یک دایره بسته، بازخورد یا دایره علی و معلولی حاصل می شود. است. حلقه بازخورد نیز دارای دو حالت مثبت (Reinforcing) یا منفی (Balancing) است.



نمودارهای علی و معلولی

- در ترسیم نمودار علی و معلولی داشتن همبستگی بین متغیرها مهم نیست بلکه باید بین دو متغیر رابطه علی برقرار باشد.
- شبیه سازی به معنای تقلید می باشد و ایجاد رفتار فقط به این معنی نیست که مدل تجربه گذشته را تولید نماید بلکه باید بتواند به رویدادها و سیاستهای کاملاً جدید پاسخ دهد.
- همبستگی بین متغیرها نشان دهنده وضعیت سیستم در گذشته است و ساختار سیستم را نشان نمی دهد. بدین ترتیب با بروز رویدادهای جدید و یا اعمال سیاستهای نو و یا با فعال شدن برخی از حلقه های بازخوردی غیرفعال در گذشته ممکن است همبستگی بین متغیرها صادق نباشد. به عنوان مثال داده ها نشان از وجود همبستگی بین تقاضا برای بستنی و تعداد قتل می باشد.



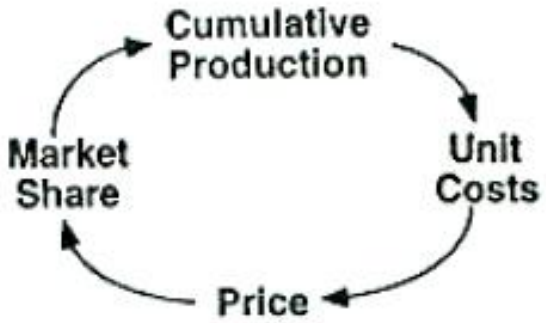
تمرین:

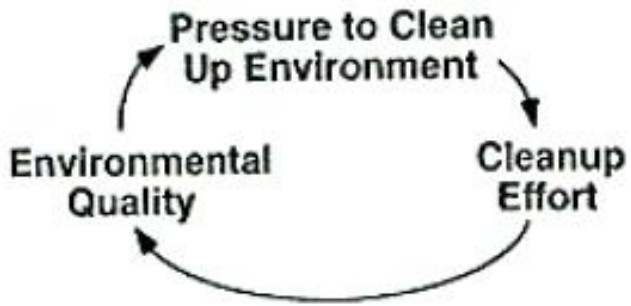
- اثر عوامل مختلف بر جذابیت محصول و به تبع آن تقاضای محصول را تعیین نموده و نمودار علی و معلولی آن به همراه علائم روابط علی را مشخص نمائید؟

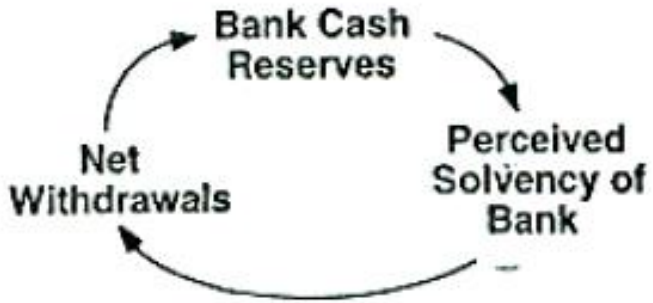
تعیین علامت حلقه علی

دو روش برای تعیین علامت حلقه های علی وجود دارد:

- ***روش سریع:*** شمارش تعداد روابط علی منفی
- ***روش صحیح:*** بررسی اثر تغییرات از طریق طی کامل حلقه علی

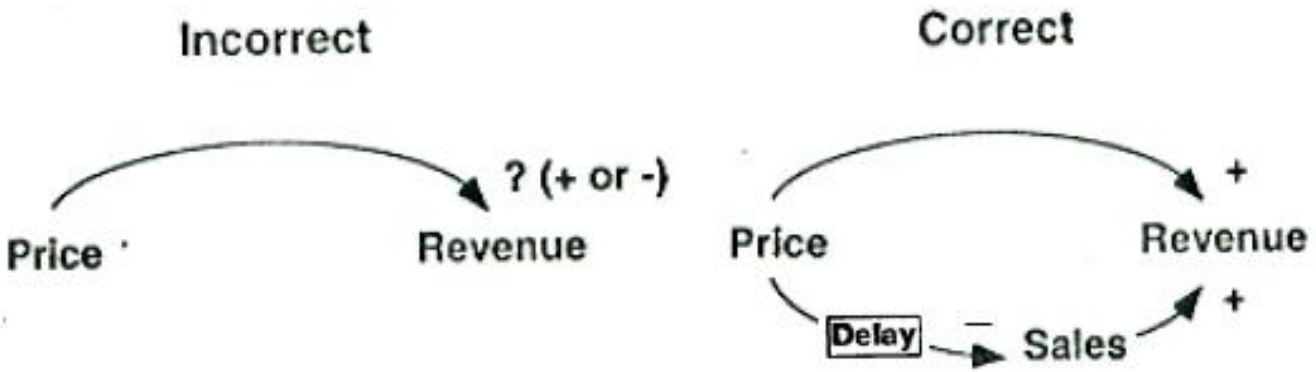




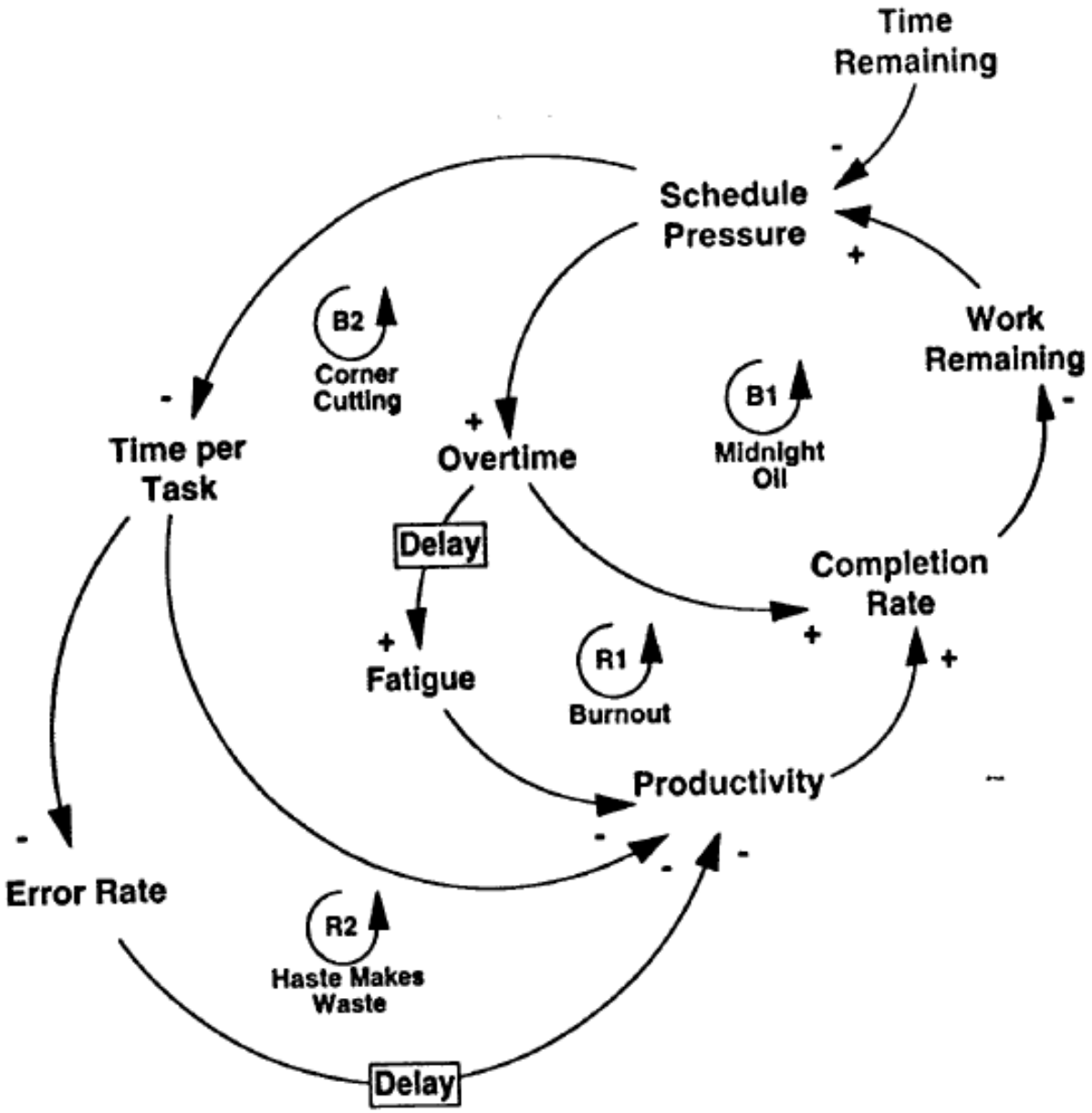


تعیین علامت رابطه علی

- در برخی مواقع روابط علی ترسیم می شود که با توجه به سایر پارامترها و یا در شرایط مختلف دارای علامت مختلفی است. به عنوان مثال رابطه بین قیمت کالا و درآمد شرکت به صورت یک رابطه علی ترسیم شده است. درصورتی که بسته به کشش تقاضا نسبت به قیمت رابطه فوق می تواند مثبت یا منفی باشد.
- در مواقعی که یک رابطه علی بیش از یک علامت می پذیرد معنی آن این است بیش از یک مسیر برای ترسیم رابطه علی بین دو متغیر وجود دارد.
- همچنین جداسازی مسیرهای تأثیر قیمت بر درآمد شرکت منجر به شناخت دقیقتری از انواع تأخیرات سیستم نیز خواهد شد.



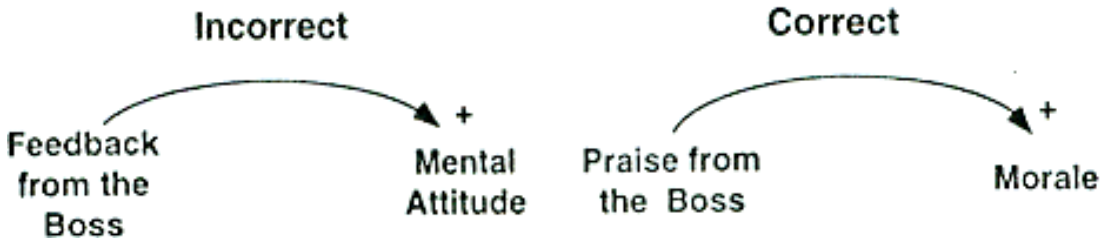
- بهتر است حلقه های بازخوردی اصلی مدل را با استفاده از یک شماره و نام تفکیک کنید. شماره حلقه در یافتن آن و نام حلقه در درک عملکرد حلقه مؤثر است.
- تأخیرها از عوامل اصلی در ایجاد رفتار سیستم می باشند. معمولاً تأخیرها مرز بین اثرات کوتاه مدت و بلند مدت مدل را نشان میدهند. بنابراین مدل علی شما باید تأخیرها را نیز نشان دهد.


Time Remaining
Schedule Pressure
Work Remaining
Time per Task
Overtime
Completion Rate
Fatigue
Productivity
Error Rate
B2
Corner Cutting
B1
Midnight Oil
R1
Burnout
R2
Haste Makes Waste
Delay
Delay

نام های متغیرها

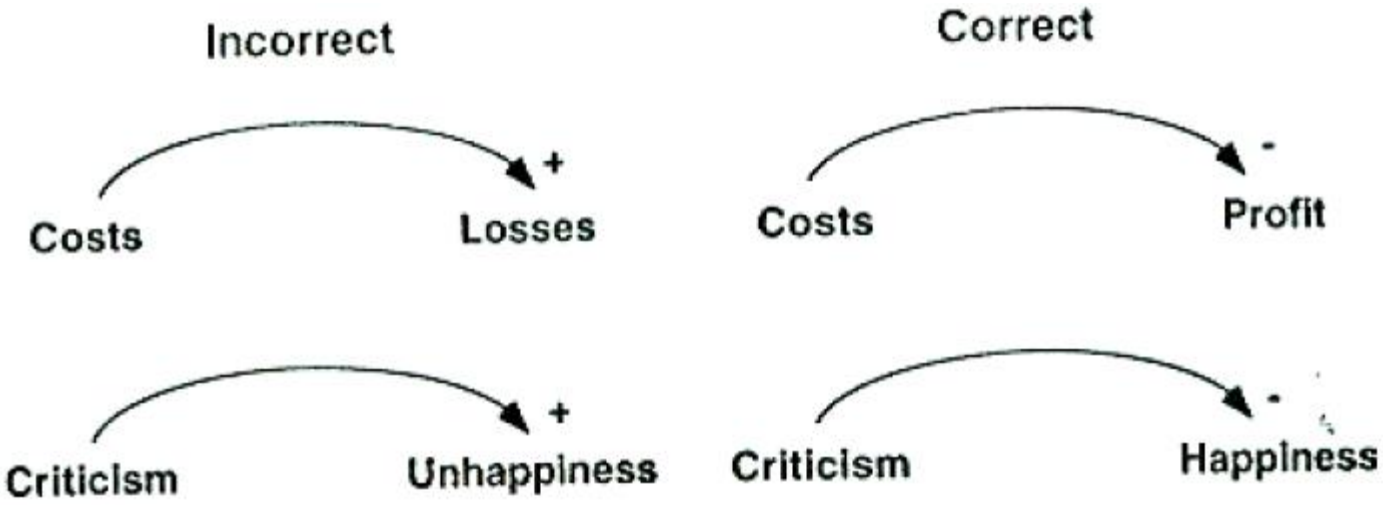
- نامهای متغیر باید بصورت اسم و یا عبارات اسمی باشند. زیرا روابط علی بیان کننده عمل انجام شده(فعل) می باشند و نمودار علی می خواهد ساختار مدل را بیان کند و نه رفتار آن را

- نام متغیرها باید بسیار گویا باشد به گونهای که به صراحت و با شفافیت کامل نشان‌دهنده نوع رابطه علی باشد.



نام متغیرها

- استفاده از کلمات و مفاهیم مثبت برای نامگذاری متغیرها

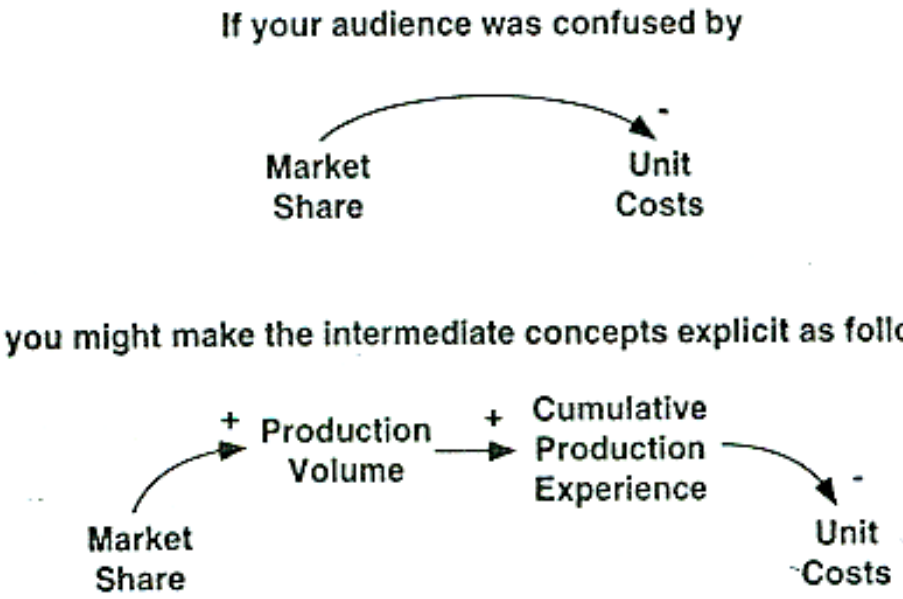


نکاتی چند در رابطه با ساختار نمودار علی و معلولی

- برای نشان دادن بازخوردها از فلش های منحنی استفاده نمائید چراکه نسبت به فلش مستقیم مفهوم بازخورد را بهتر نمایش می دهد.
- حلقه های بازخوردی مهم را به شکل دایره یا بیضی نمایش دهید.
- نمودارهای علی و معلولی خود را بگونه ای ترسیم کنید که کمترین برخورد بین خطوط باشد.
- برای رسیدن به بهترین وضعیت نمودار علی را چندین بار ترسیم کنید (تکرار).

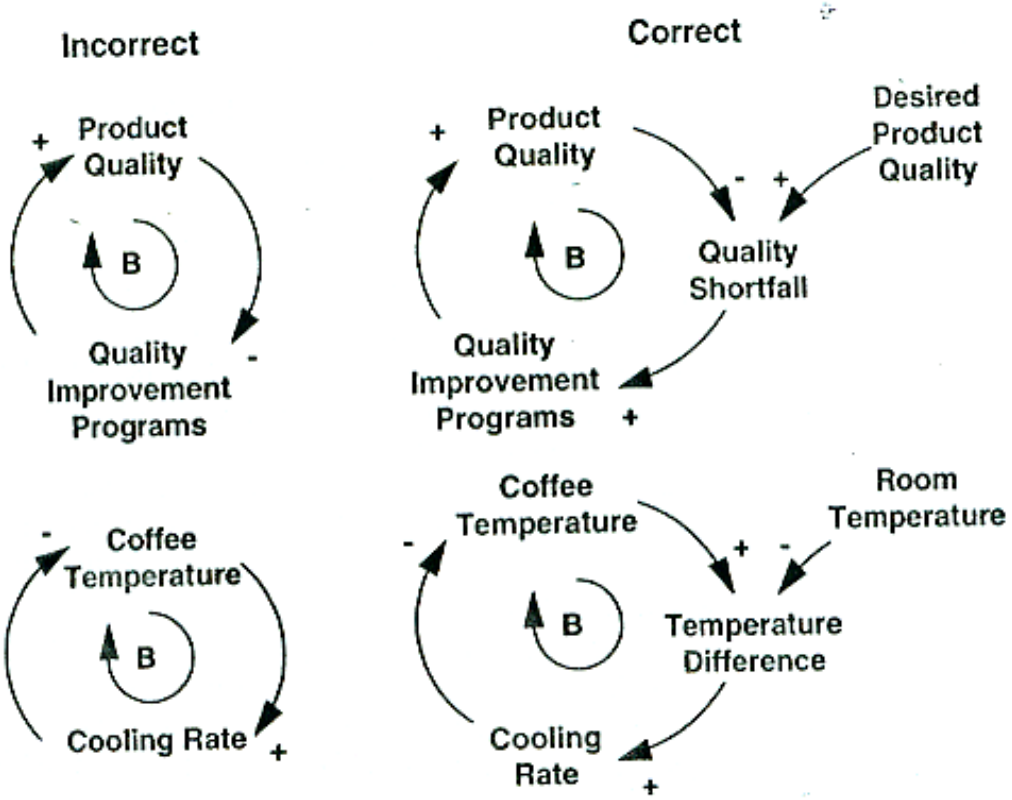
انتخاب مناسبترین سطح جزئیات

- جزئیات زیاد درک مدل را مشکل نموده و کلی گویی نیز به منطق روابط علی و معلولی صدمه می زند.
- برای رسیدن به حالت مطلوب سعی کنید ابتدا در کلی ترین حالت نمودار را ترسیم نمائید سپس روابطی کلی را که خواننده مدل قادر به درک منطق آن نمی باشد بگونه ای اصلاح کنید که قابل فهم باشند.



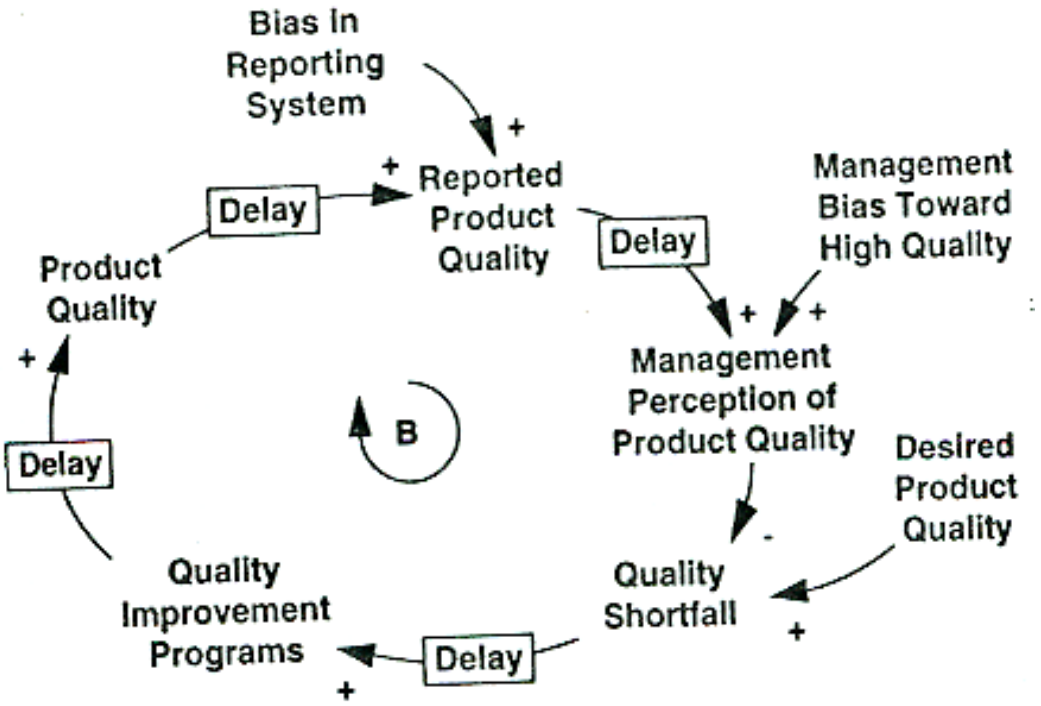
نکات رسم نمودار علی

- استفاده از روابط علی پیچیده و بزرگ بررسی و درک نمودار و اینکه نمودار فوق چگونه رفتار دینامیک سیستم را ایجاد می کند مشکل خواهد نمود.
- اهداف(حالت تعادل) حلقه های علی منفی را مشخص نمائید



نکات رسم نمودار علی

- معمولاً بین وضعیت صحیح و وضعیت درک شده از سیستم اختلاف وجود دارد. و این اختلاف متأثر از برخی عوامل مثل زمانهای تأخیر (تأخیر در گزارش دهی و یا تأخیر در فرایند محاسبات)، خطای اندازه گیری، خطای انحراف به یک سمت خاص، تحریف و ابهام در اطلاعات می باشد.



ترسیم نمودار با استفاده از داده های مصاحبه

- داده لازم برای ترسیم نمودار علی را با استفاده از روشهای مختلفی می توان جمع آوری نمود که عبارتند از: بازدید و مشاهده، مصاحبه و استفاده از مستندات موجود.
- روش بازدید و مشاهده معمولاً برای مدلهای سیستم داینامیک روش مناسبی نمی باشد ولی استفاده از روش مصاحبه بسیار مفید و مناسب است. البته مصاحبه به تنهایی کافی نبوده و باید از مستنداتی که در رابطه با سیستم فوق نیز وجود دارد در کنار مصاحبه استفاده کرد.
- داده های حاصل از مصاحبه مجموعه ای غنی خواهد بود که شامل: شرح فرایندهای تصمیم گیری، سیاستهای داخلی و ویژگیهای انگیزشی موجود در سیستم و غیره می باشد.

محدودیت نمودار علی-معلولی

- نمودار علی می‌تواند مدل ذهنی و فیدبک‌های سیستم را نشان می‌دهد، اما عدم توانایی نشان دادن ساختار پویای سیستم محدودیت آن است.
- وجود دینامیک در سیستم‌ها به معنی وجود عناصر ذخیره کننده است؛ به عبارت دیگر متغیرهای حالت و نرخ در پدیده‌ها باعث پویایی سیستم می‌شود
- در دینامیک سیستم علاوه بر متغیرهای حالت و نرخ، فیدبک‌های درونی سیستم نقش مهمی را ایفا می‌کند.
- وجود دینامیک باعث می‌شود تا معادلات سیستم به صورت معادلات دیفرانسیل درآید.

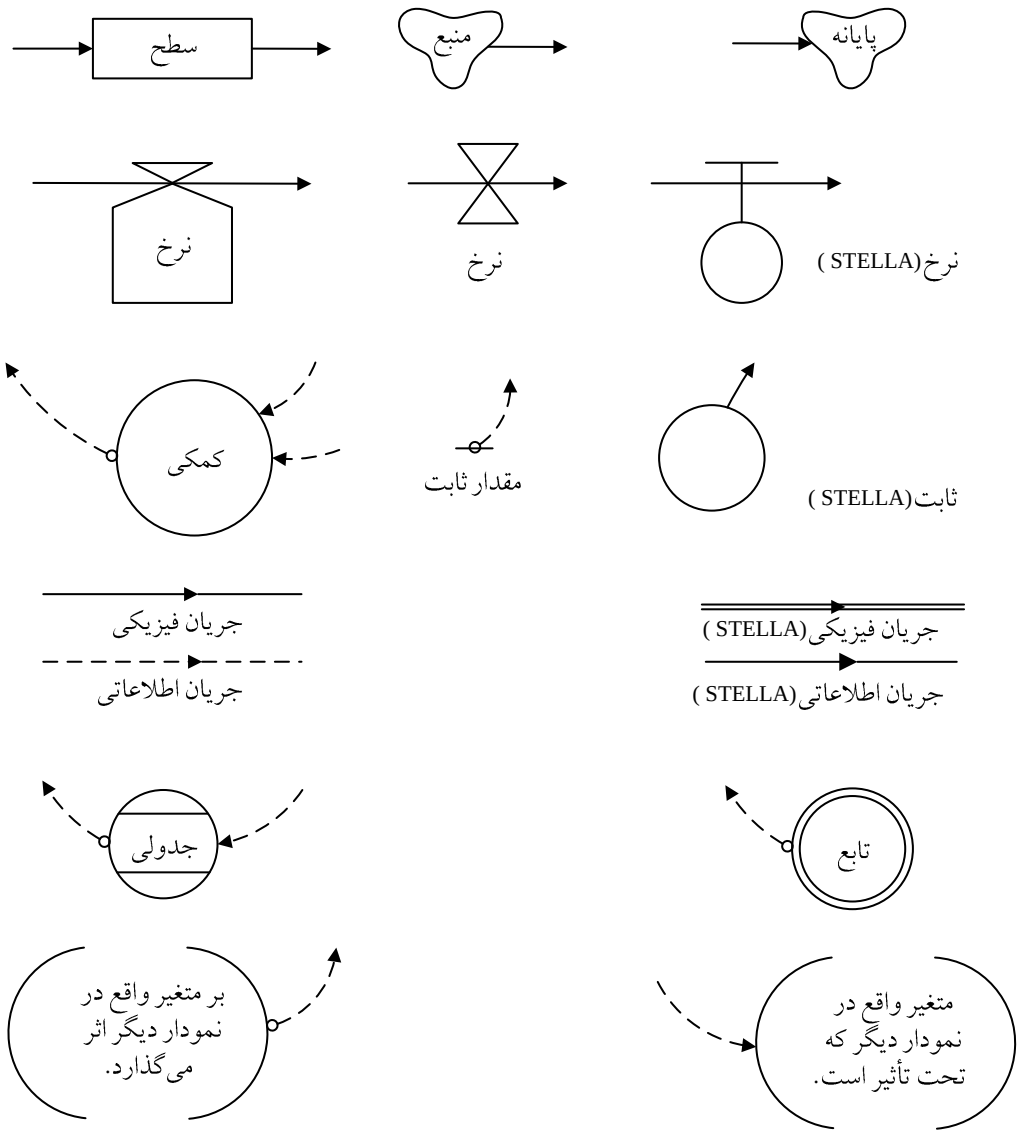
نمودار جریان

☑هدف اصلی از نمودار جریان نشان دادن ساختار ریز و جزئی جریان سیستم در قالب ساختارهای ریز سیاستهاست تا ایجاد و تدوین مدل ریاضی برای شبیه‌سازی تسهیل شود.

☑این نمودار کامل‌ترین نمودار در مدل‌سازی پویاییهای سیستم است و محدودیتها و ضعفهای دیگر نمودارهایی را که به آنها اشاره شد، می‌پوشاند.

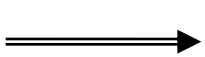
☑این نمودار بین زیرسیستم‌های فیزیکی و اطلاعاتی تمییز قائل می‌شود و همچنین انواع مختلف متغیرها و توابع را طبقه‌بندی می کند.

نمودار جریان ـ نمادها (DYNAMO و STELLA)



نمودار جریان ـ نمادها (Vensim)

Stock

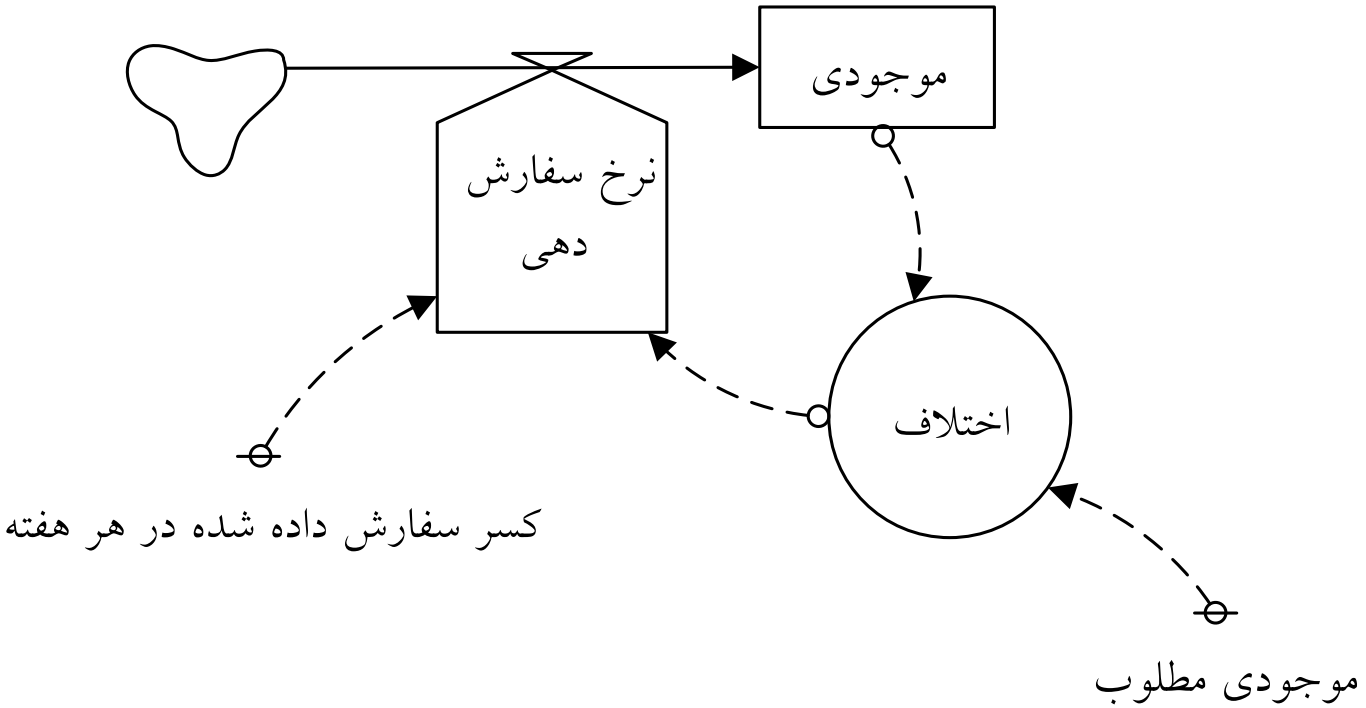


Flow

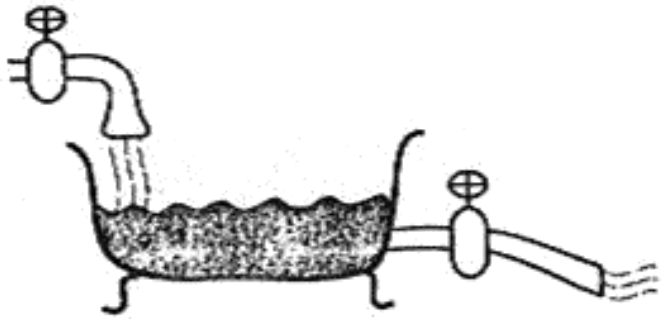
Valve (Flow Regulator)

Source or Sink
(Stocks outside model boundary)

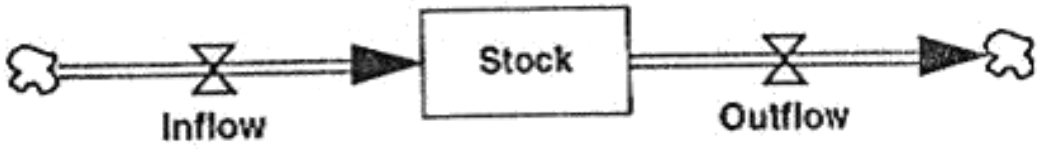
نمودار جریان ـ مثال



نمودار جریان



Stock and Flow Diagram:



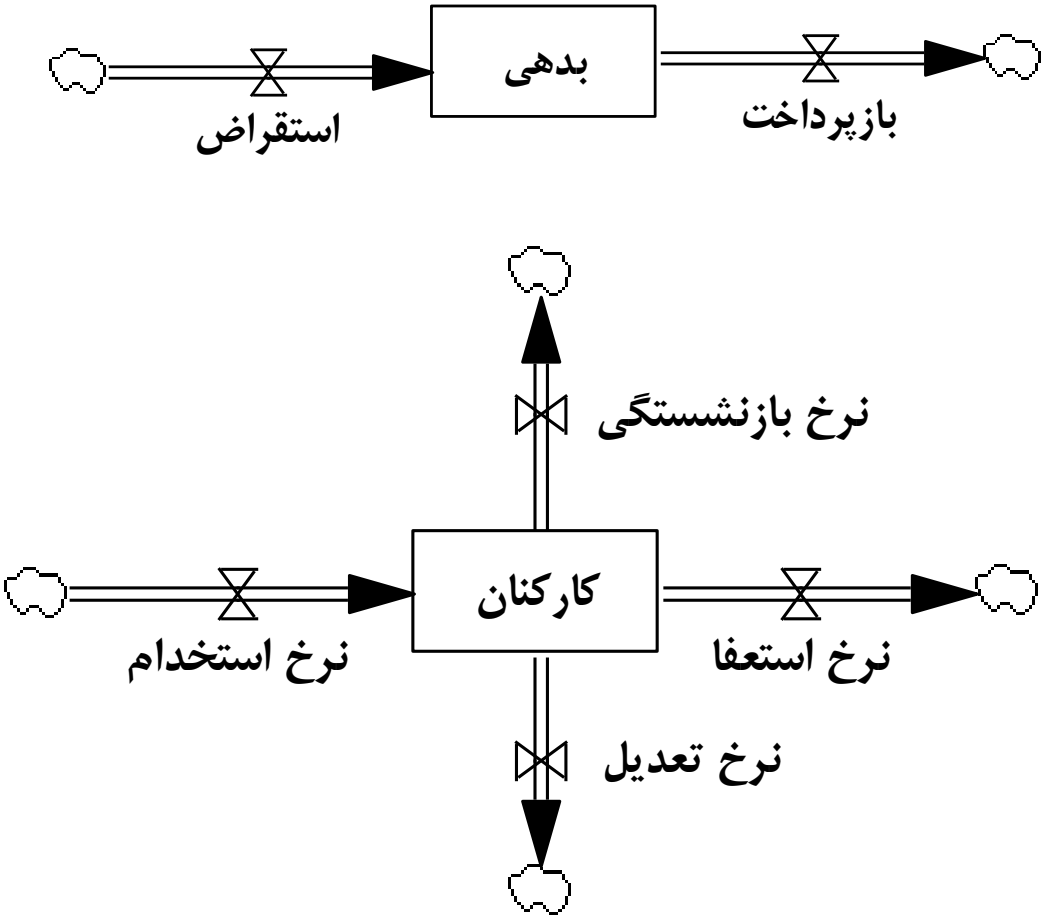
Integral Equation:

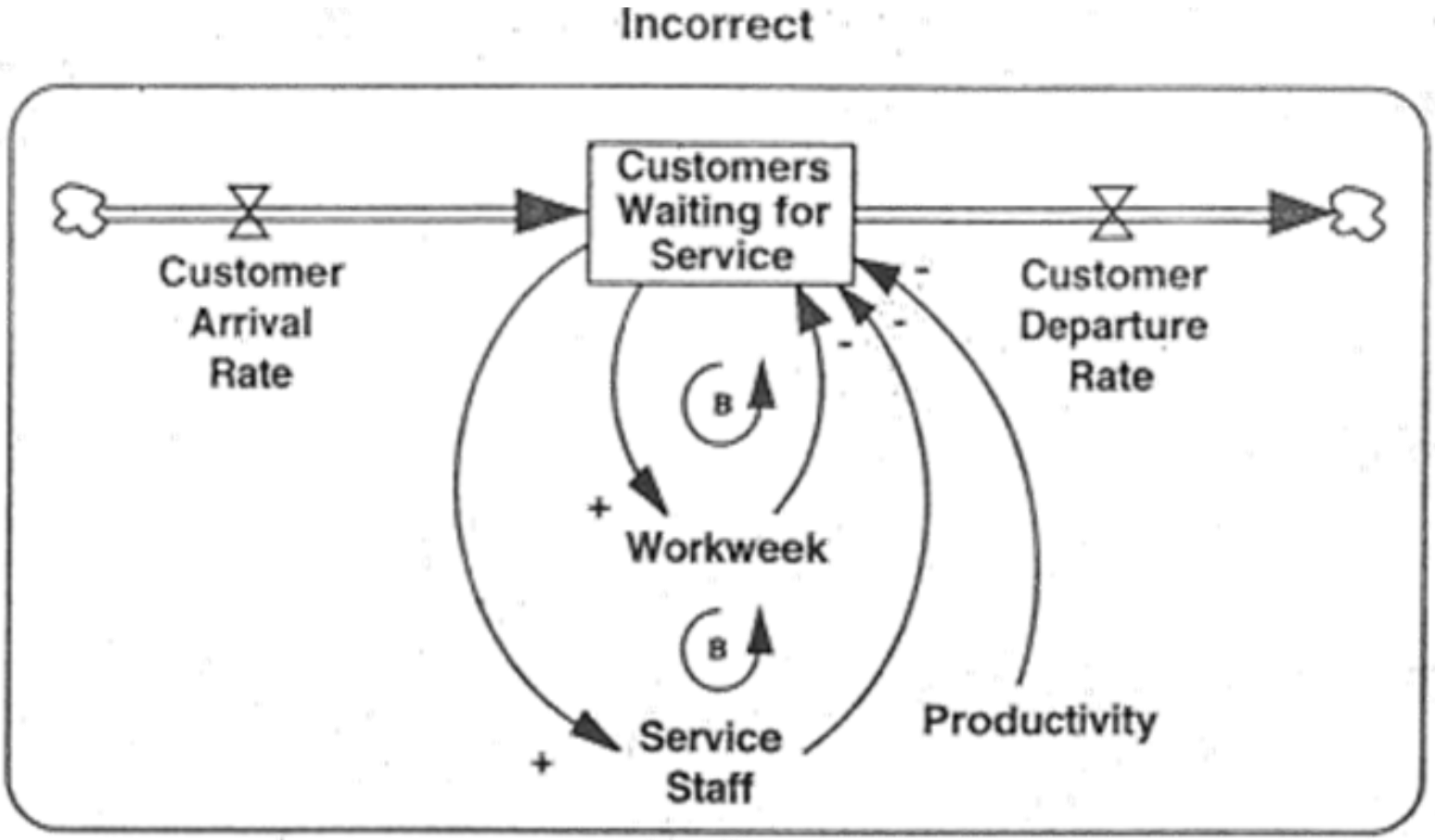
$$\text{Stock}(t) = \int_{t_0}^{t} [\text{Inflow}(s) - \text{Outflow}(s)]ds + \text{Stock}(t_0)$$

Differential Equation:

$$d(\text{Stock})/dt = \text{Net Change in Stock} = \text{Inflow}(t) - \text{Outflow}(t)$$

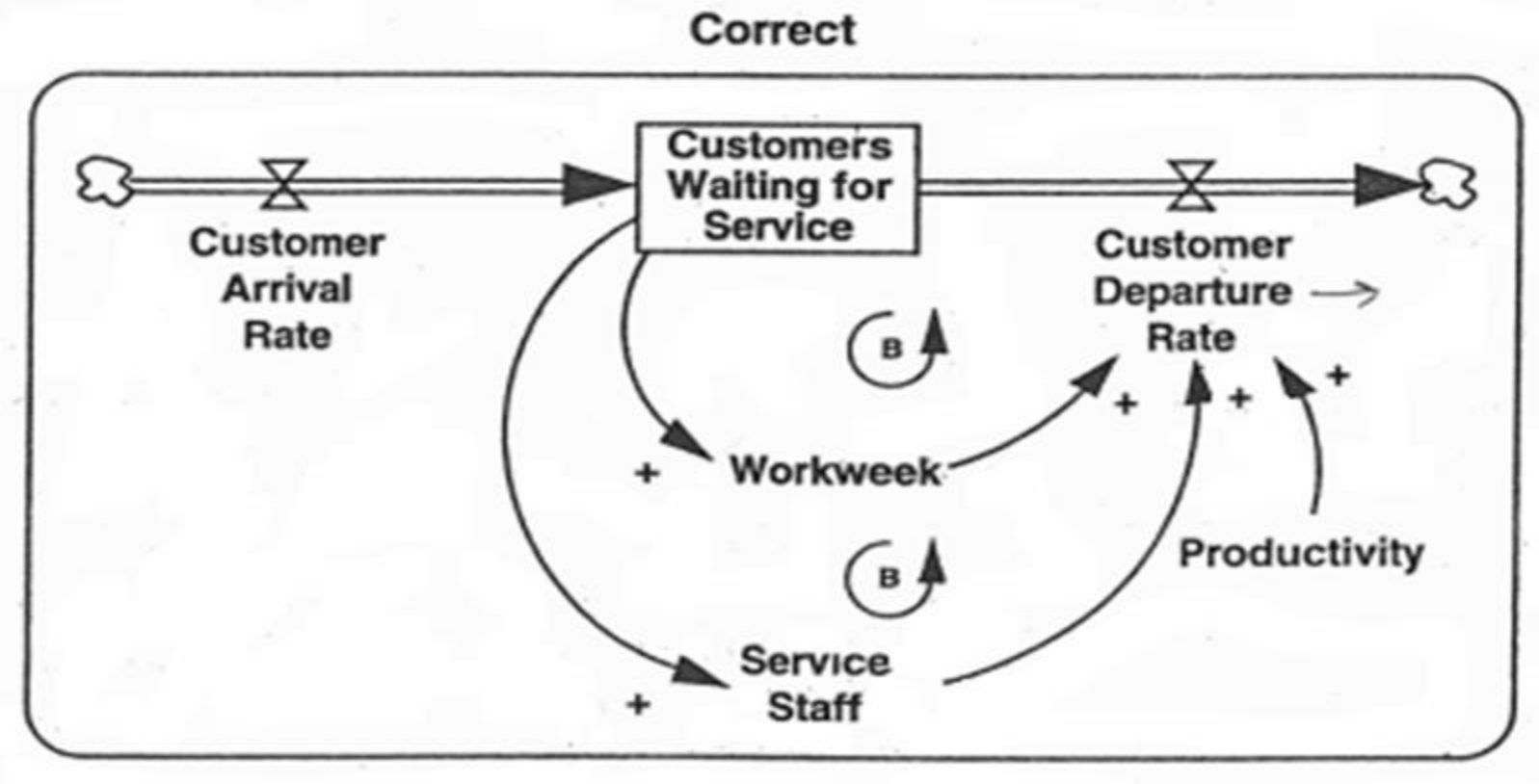
نمودار جریان ـ مثال (نمادهای نرم‌افزار Vensim)





- نمودار غلط –نقشه انباشت و جریان یک سرویس خدماتی

➢ هفته کاری، تعداد کارمندان و دیگر متغیرها نمی توانند مستقیما روی انباشت مشتریان منتظربرای گرفتن سرویس تاثیر بگذارند.



- نقشه نمودار صحیح – هفته کاری، تعداد کارمندان و سودمندیشان روی نرخ ترک مشتری تاثیر می گذارد که انباشت مشتریان منتظر را کاهش می دهد.
- در هر دو شکل فیدبک های موازنه برقرارند .

سیستمهای نوع اول

نوع یک سیستم : نوع یک سیستم پویا از روی تعداد متغیرهای حالت و یا انباشتهایی که شامل می شود، مشخص می شود.

یک سیستم نوع اول تنها شامل یک انباشت است.

سیستمهای خطی : سیستم هایی هستند که ورودی خالص به انباشت در آنها مقداری ثابت است. هر شکل دیگری برای ورودیهای خالص، غیر خطی است.

بازخورد مثبت و رشد نمایی

- ✓ ساده ترین سیستم بازخورد، یک حلقه بازخورد مثبت نوع اول است.
- ✓ در این نوع سیستم تنها یک انباشت وجود دارد.
- ✓ مقدار این انباشت در هر لحظه از جمع ورودیهای خالص به آن بدست می آید.
- ✓ این ورودی های خالص در هر لحظه به وضعیت سیستم (انباشت) بستگی دارد.

S = INTEGRAL (ورودی خالص, S(0))

ورودی خالص = f(S)

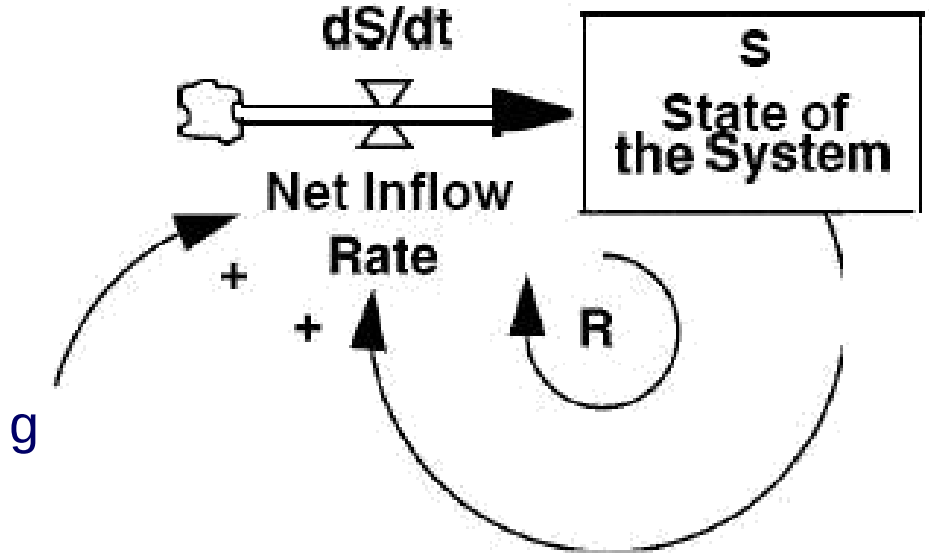
و اگر سیتسم خطی باشد :

ورودی خالص = gS

g = نرخ رشد نسبی انباشت

بازخورد مثبت و رشد نمایی

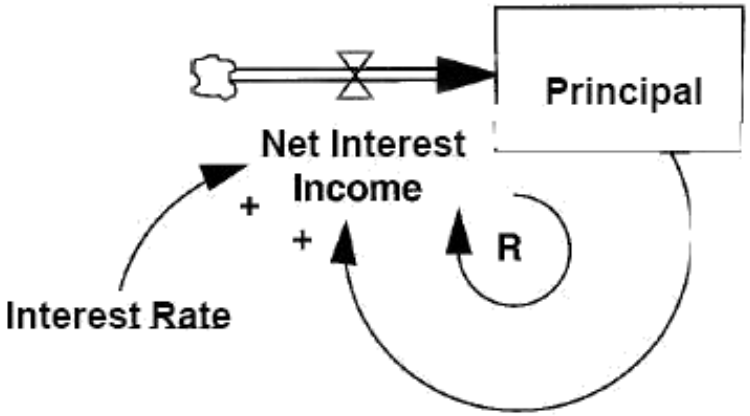
ساختار کلی سیستم بازخورد مثبت خطی نوع اول



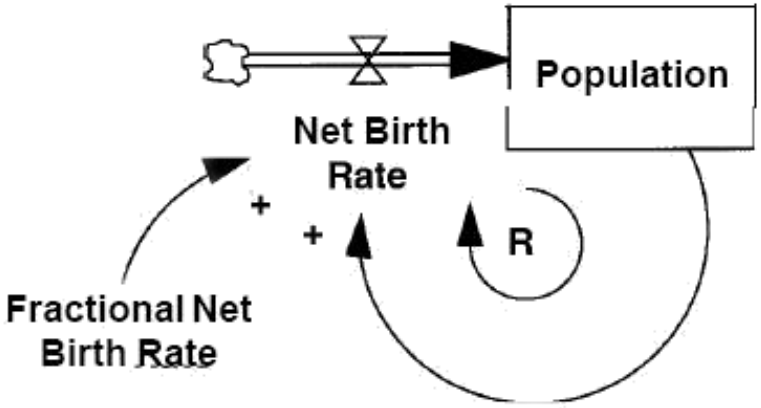
dS/dt = نرخ ورودي خالص = gS

بازخورد مثبت و رشد نمایی

مثال



بهره خالص = نرخ بهره × سرمایه



نرخ خالص تولد = نرخ خالص تولد نسبی × جمعیت

حل تحلیلی سیستم نوع اول خطی

داشتیم :

$$\frac{dS}{dt} = gS \quad \Rightarrow \quad \frac{dS}{S} = gdt$$

با انتگرال گیری از دو طرف :

$$\int \frac{dS}{S} = \int gdt \quad \Longrightarrow \quad \ln(s) = gt + c$$

حال اگر هر دو طرف را در تابع نمایی قرار دهیم :

$$S = c^{*} \exp(gt)$$

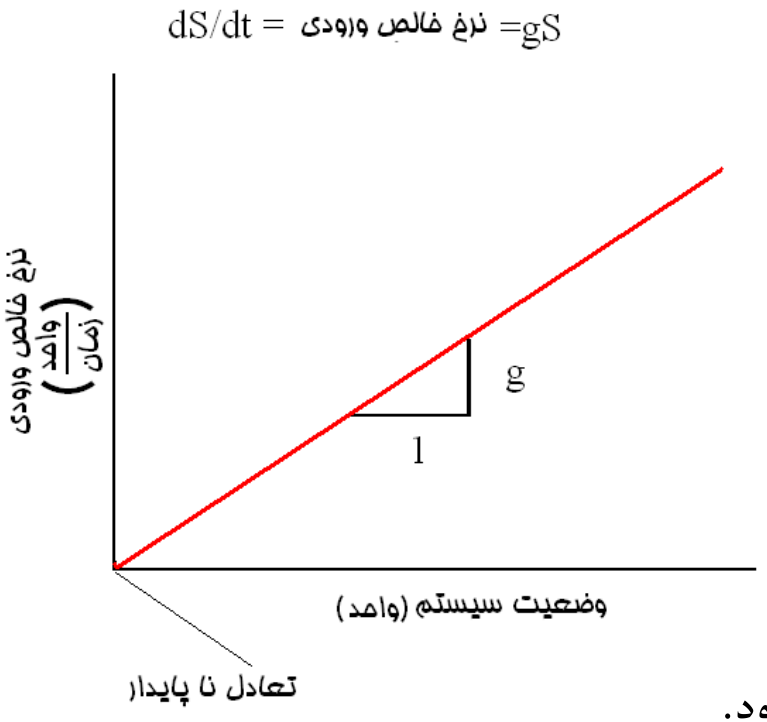
که c^{*} برابر $exp(c)$ است و مقدار S در زمان ابتدایی که $exp(gt) = 1$ با S(0) نمایش داده می شود بنا بر این:

$$S(t) = S(0) \cdot \exp(gt)$$

حل ترسیمی برای سیستم
بازخورد مثبت نوع اول خطی

- ✓ مي توانيم رفتار یک سیستم خطي نوع اول را بدون حل معادلات و با استفاده از نمودار فازي و به صورت ترسيمي نشان دهيم.
- ✓ **نمودار فازي :** نموداريست که نرخ ورودي خالص را به عنوان تابعي از وضعيت سيستم نشان مي دهد.

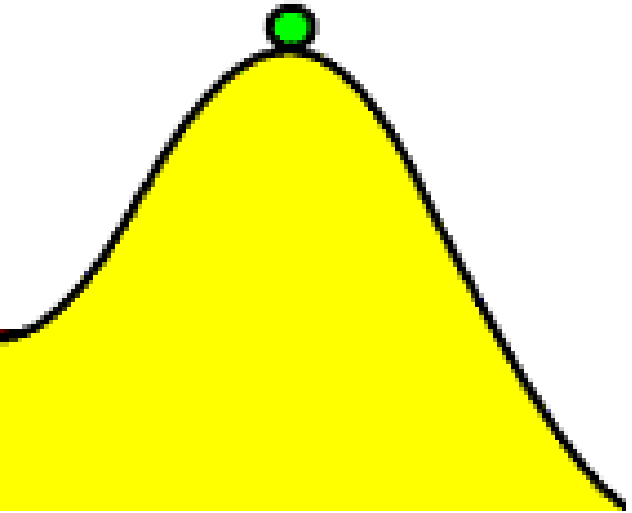
حل ترسیمی برای سیستم
بازخورد مثبت نوع اول خطی

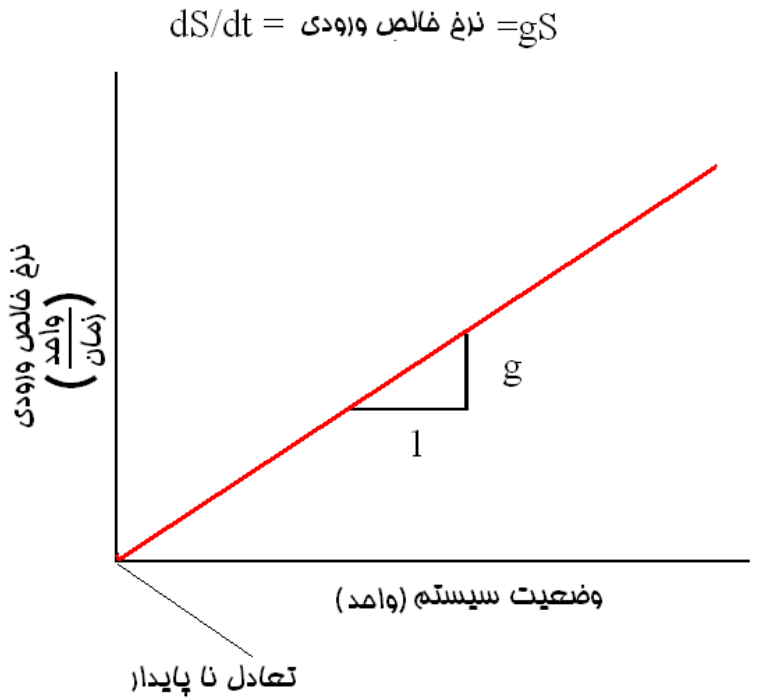


- نمودار يك خط مستقيم است كه با شيب g از مبداء شروع مي شود.
- در مبداء سيستم داراي يك تعادل ناپايدار است. در اين نقطه ، وضعيت سيستم و جريان خالص آن صفر است.
- اضافه شدن هر مقدار كوچكي به انباشت باعث خارج شدن جريان خالص از صفر مي شود كه انباشت را زياد مي كند و اين ازدياد انباشت باز هم جريان خالص را افزايش مي دهد و . . .

حل ترسیمی برای سیستم
بازخورد مثبت نوع اول خطی

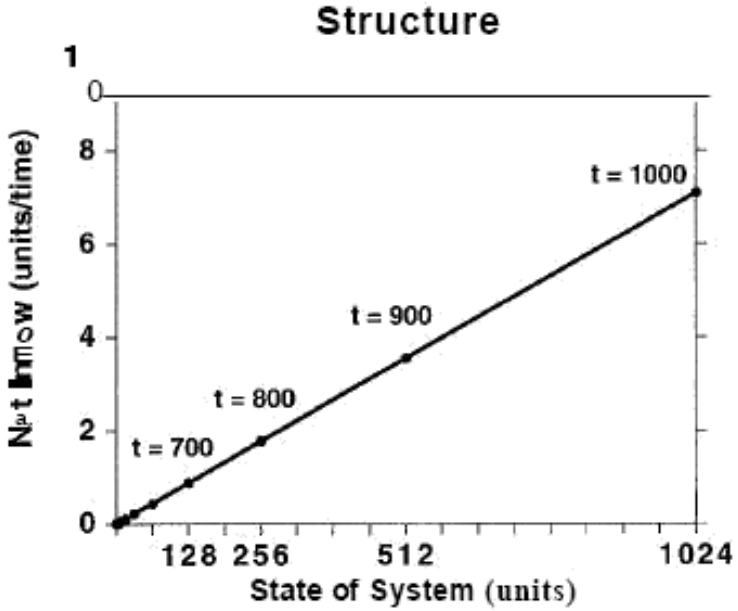
✓ این تعادل همانند تعادل توپ در بالای تپه است ، با کوچکترین حرکت از بین می رود و توپ با سرعت فزاینده ای به سمت پایین تپه شروع به حرکت می کند که این دقیقا معنای بازخورد مثبت است.

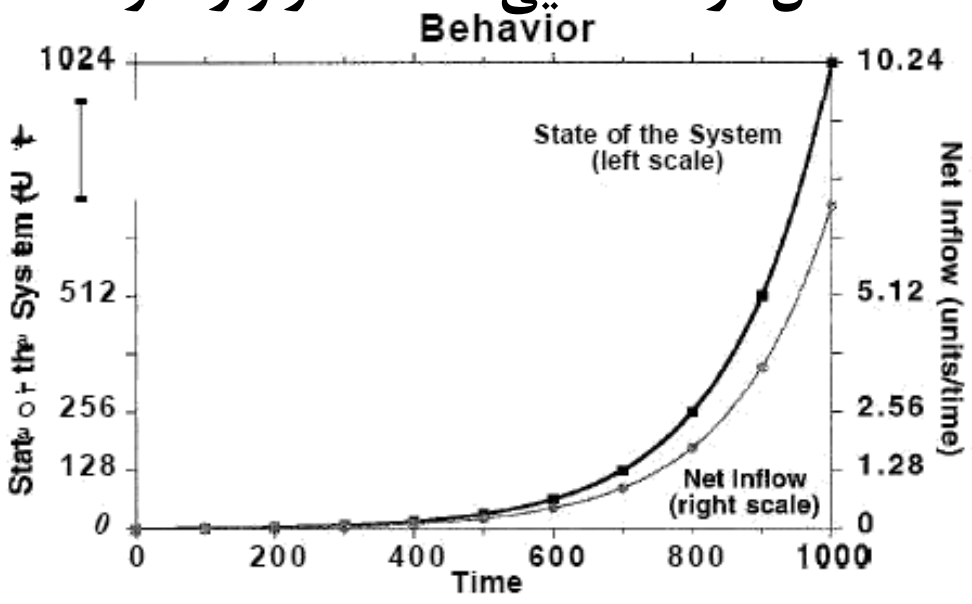




حل ترسیمی برای سیستم
بازخورد مثبت نوع اول خطی

مثال : رشد نمایی – ساختار و رفتار

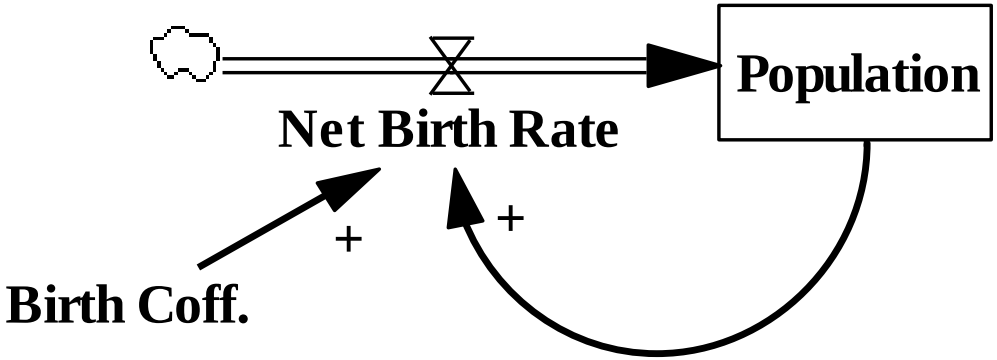




- ✓ رشد نمايي با نرخ رشد نسبي 0.7 % در هر واحد زمان با وضعيت اوليه 1 واحد.
- ✓ شيب منحني وضعيت سيستم (جريان خالص) در هر نقطه متناسب است با مقدار انباشت در آن نقطه
- ✓ نقاط در نمودارهاي بالا زمانهاي دو برابر شدن را نشان مي دهد كه اين نمودارها براي 10 زمان دو برابر شدن ترسيم شده اند. (زمان دو برابر شدن : هر 100 دوره زماني)

رشد درجه یک

- ساده ترین ساختاری که باعث رفتار رشد می‌شود، ساختار فیدبکدار مثبت درجه 1 است.
- مثال رشد جمعیت



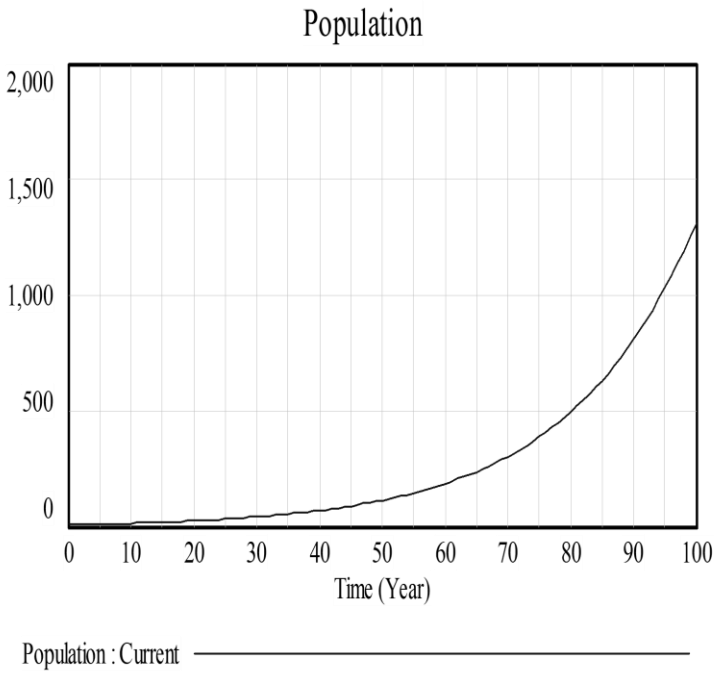
رشد جمعیت (ادامه)

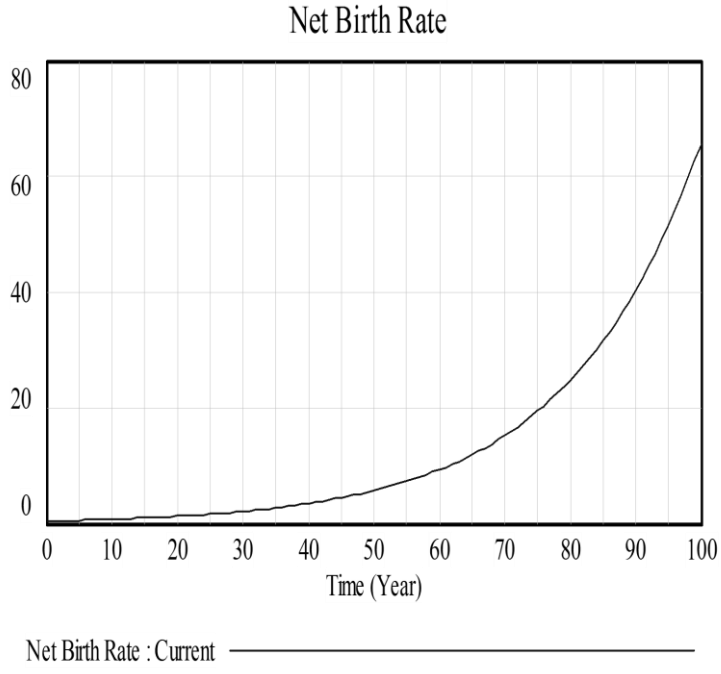
$$Population(t) = \int_{t_0}^{t} [NetBirthRate(s)ds] + Population(t_0)$$

$$NetBirthRate(t) = (BirthCoff.) * Population(t)$$

$$Population(t) = Population(t_0) * E^{(BirthCoff.)*t}$$

رشد جمعیت (ادامه)





قدرت بازخورد مثبت : زمانهای دو برابر شدن

قانون 70 : بدست آوردن زمان دو برابر شدن

✓ حلقه های بازخورد مثبت از قدرتمند ترین فرآیند های رشد در جهان هستند. زیرا هنگامی که وضعیت سیستم رشد می یابد نرخ رشد نیز رشد می یابد.

✓ هنگامی که نرخ رشد نسبی (g)، ثابت باشد بازخورد مثبت منجر به رشد نمایی می شود.

✓ خاصیت رشد نمایی دو برابر شدن وضعیت سیستم در بازه زمانی ثابت است.

قدرت بازخورد مثبت : زمانهای دو برابر شدن

قانون 70 : بدست آوردن زمان دو برابر شدن

داشتیم :

$$S(t) = S(0).\exp(gt)$$

برای بدست آوردن زمان دو برابر شدن کافی است معادله زیر را حل کنیم:

$$2S(0) = S(0)\exp(gt_d)$$

t_d = زمانی که مقدار انباشت به دو برابر مقدار اولیه خود می رسد.

که خواهیم داشت :

$$t_d = \frac{\ln(2)}{g}$$

$$\ln(2) = 0.693 \cong 0.70$$

$$\Rightarrow \quad t_d = \frac{70}{100g}$$

که به آن ***قاعده*** 70 می گویند.

درک نادرست رشد نمایی

- ✓ انسانها اصولا در پیش بینی رفتار رشد نمایی ناتوانند و این موضوع به سطح تحصیلات یا دانش افراد مرتبط نیست.

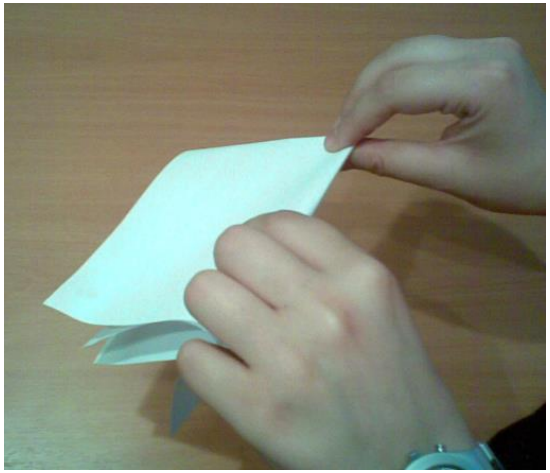
- ✓ مردم عمدتاً نرخ رشد را بجای اینکه بصورت نمایی پیش بینی کنند، به صورت خطی پیش بینی می کنند.

- ✓ ممکن است در بازه های کوچک زمان بتوانند تخمینی حدودا صحیح داشته باشند ولی با افزایش زمان خطا بسیار زیاد می شود .

درک نادرست رشد نمایی

چالش : تا کردن کاغذ

یک کاغذ معمولی را از وسط تا کنید ، دوباره کاغذ را از وسط تا کنید.



1) اگر این کاغذ را 40 بار دیگر تا کنید ضخامت آن چقدر خواهد بود ؟

$$2^{42} \times 0.1 = 4.39 \times 10^{11}\, mm \cong 440000 km$$

برابر فاصله زمین تا کره ماه است!

2) اگر کاغذ را در کل 100 بار تا کنید ضخامت آن چقدر خواهد بود؟

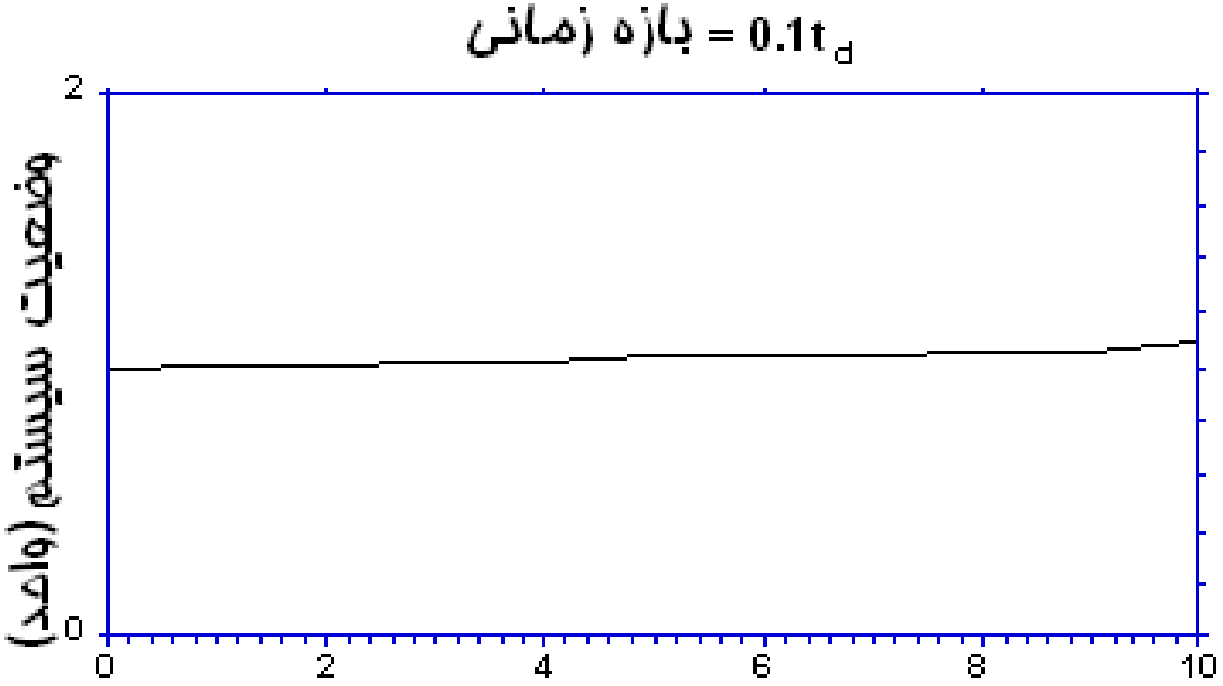
$$2^{100} \times 0.1 = 1.27 \times 10^{30}\, mm \cong 1.27 \times 10^{30}\, km$$

برابر 852×10^{12} برابر فاصله زمین تا خورشید و برابر 1.29×10^{9} سال نوری می باشد!

درک نادرست رشد نمایی

مثال

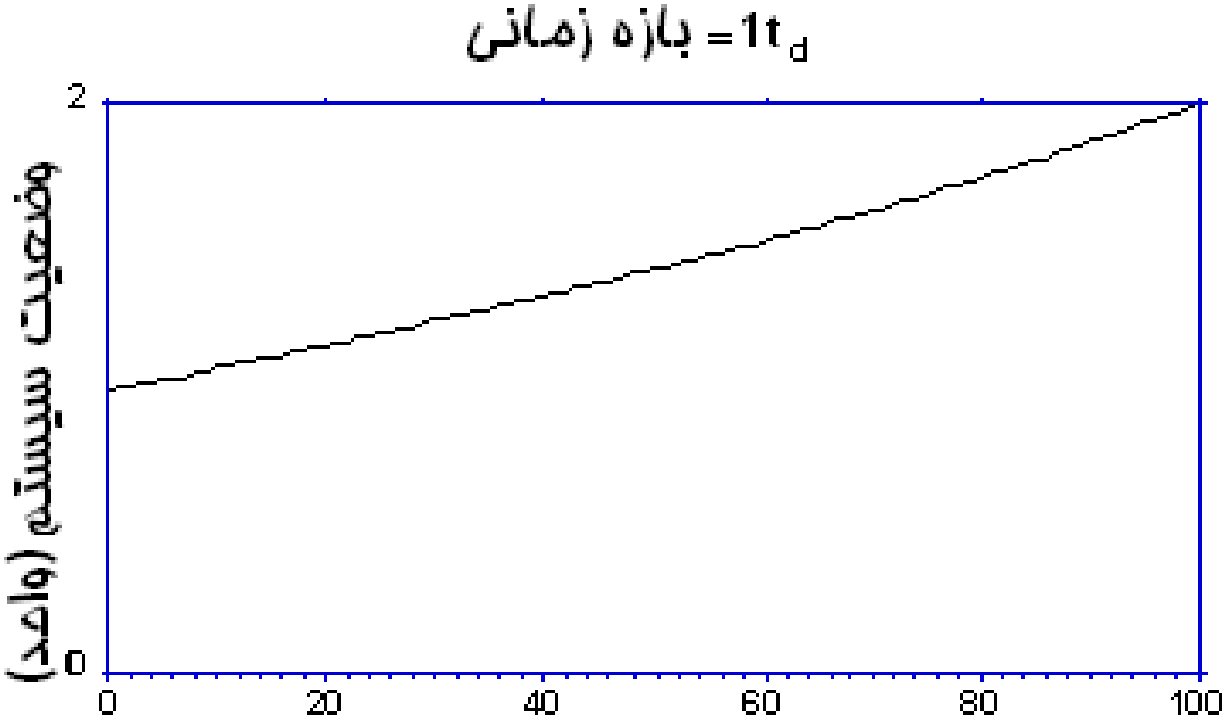
- ✓ یک فرآیند بازخورد مثبت با نرخ رشد ٪ 0/7 = g در نظر بگیرید.
- ✓ با توجه به قانون 70، زمان دو برابر شدن برای این مسئله برابر 100 است.



دو برابر شدن اصلاً مشهود نیست

درک نادرست رشد نمایی

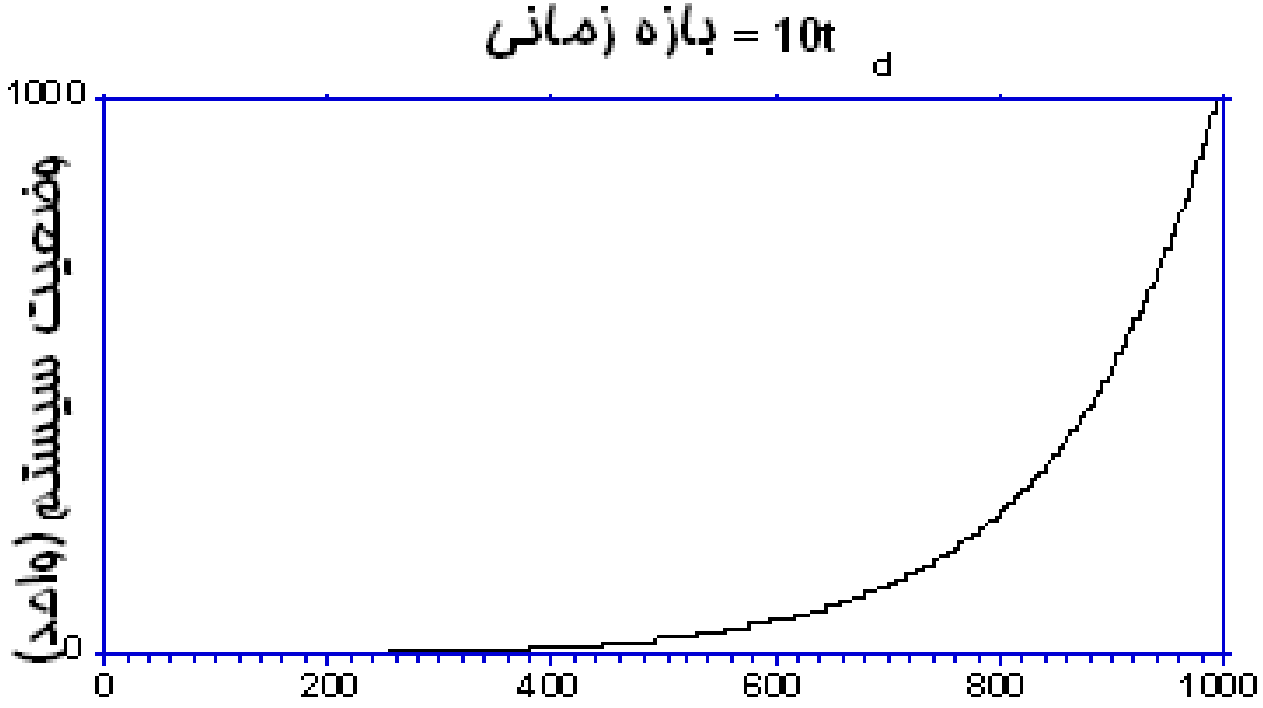
مثال



رشد بسیار شبیه به رشد خطی است

درک نادرست رشد نمایی

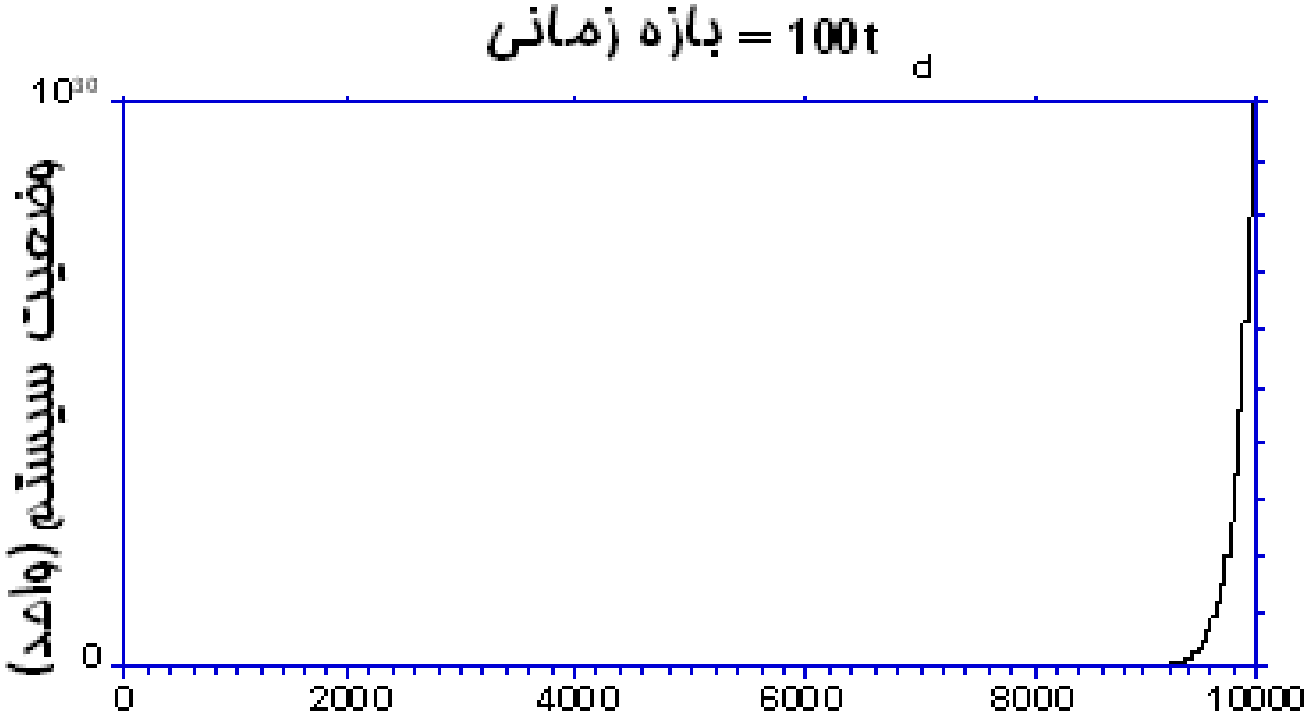
مثال



شتابدار بودن رشد نمایی به وضوح مشخص است

درک نادرست رشد نمایی

مثال



این نمودار نشان می دهد که تا ٪ 90 زمان گذشته در مقایسه با ٪ 10 آخر بازه زمانی، هیچ اتفاقی نیفتاده است.

درک نادرست رشد نمایی

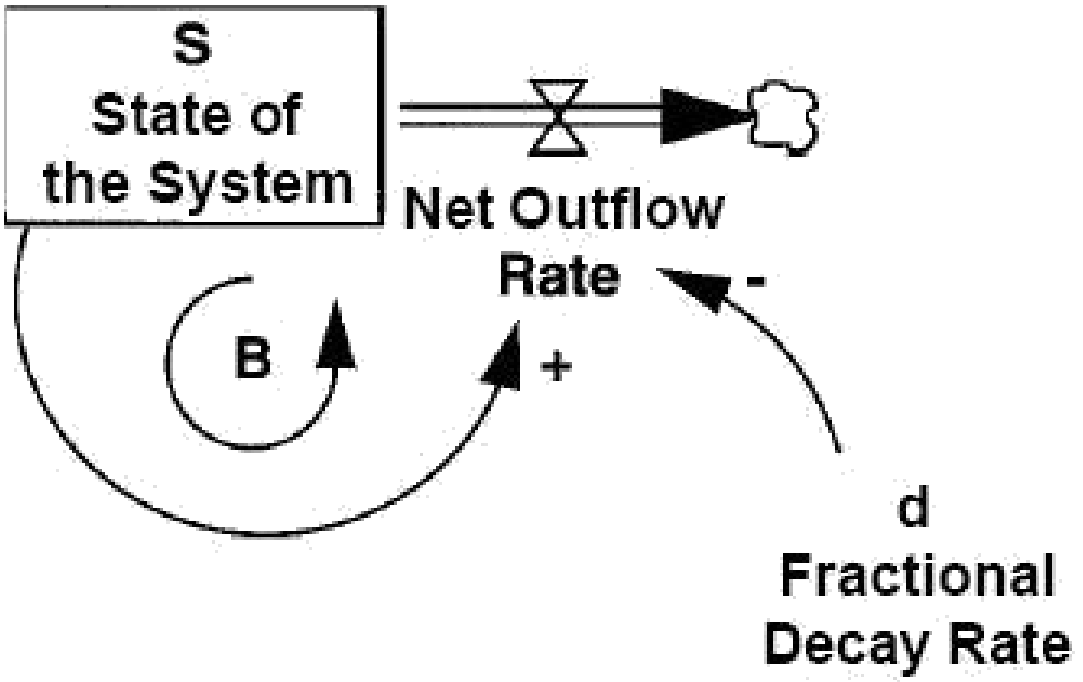
هیچ کمیت واقعی ای نمی تواند برای همیشه رشد پیدا کند

بازخورد منفی و کاهش نمایی

- ✓ سیستمهای نوع اول با بازخورد منفی، رفتار هدفگرا را تولید می کنند.
- ✓ هنگامی که این نوع سیستمها خطی باشند، رفتار آن به صورت کاهش نمایی مطلق خواهد بود.
- ✓ برای مثال می توان نرخ مرگ و یا کاهش ارزش دارایی ها را در این دسته قرار دهیم.

بازخورد منفی و کاهش نمایی

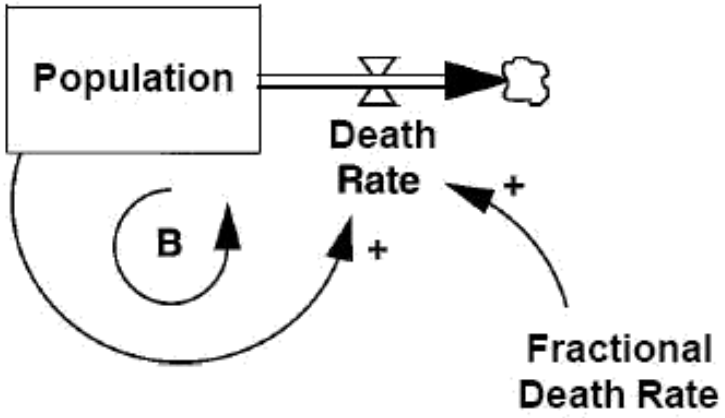
ساختار کلی سیستم بازخورد منفی خطی نوع اول



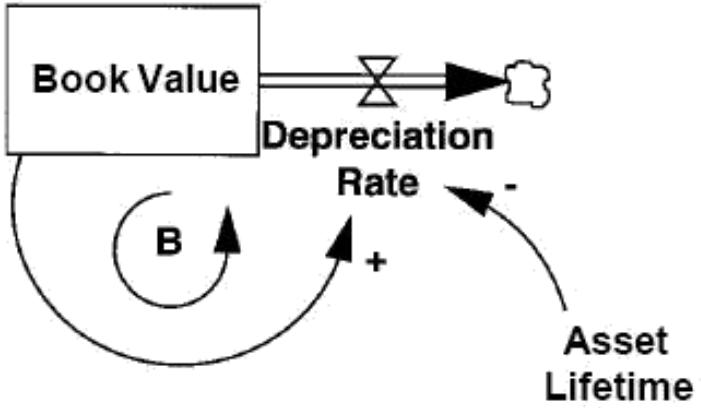
-dS = نرخ خروجی خالص - = نرخ ورودی خالص

بازخورد منفی و کاهش نمایی

مثال



جمعیت × نرخ مرگ نسبی = نرخ مرگ



ارزش زمانی / ارزش دفتری = نرخ کاهش

بازخورد منفی و کاهش نمایی

در سیستمهای نوع اول خطی با بازخورد منفی، خروجی خالص با اندازه انباشت متناسب است :

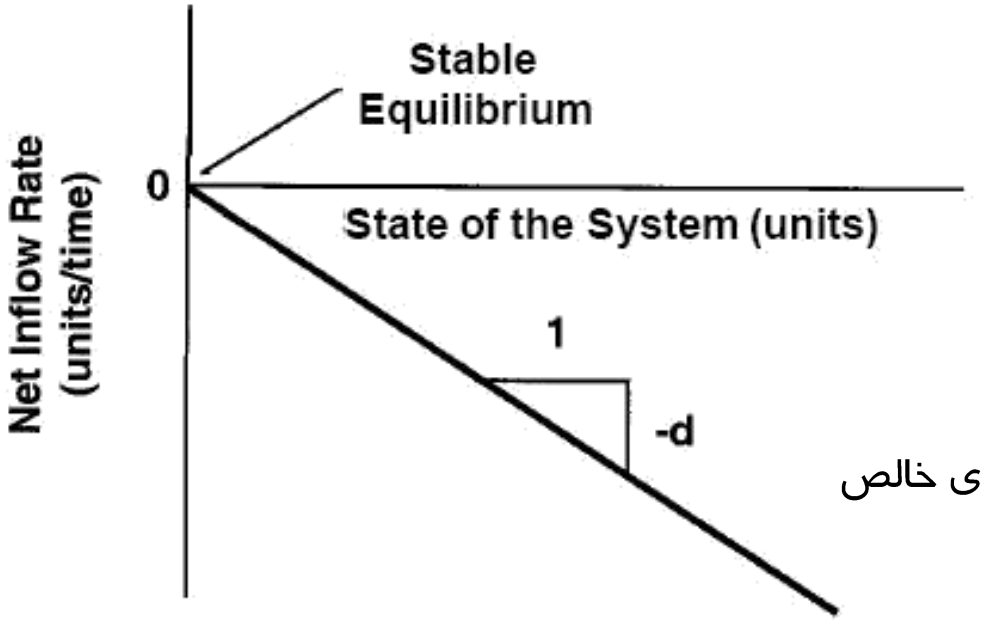
-dS = نرخ خروجی خالص - = نرخ ورودی خالص

که این رابطه همانند رابطه gS = ورودی خالص است با این تفاوت که نرخ کاهش نسبی با علامت منفی جایگزین نرخ افزایش خالص نسبی شده است.

بنا بر این حل آن همان حل توابع نمایی با جایگزین کردن d- بجای g است.

$$S(t) = s(0)\exp(-dt)$$

بازخورد منفی و کاهش نمایی



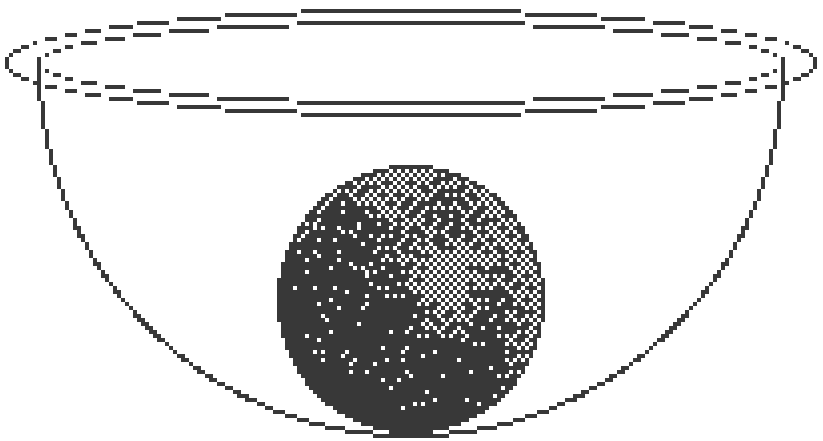
-dS = نرخ خروجی خالص - = نرخ ورودی خالص

✓نمودار یک خط مستقیم است که با شیب d- از مبداءِ شروع می شود.

✓در مبداءِ سیستم دارای یک تعادل پایدار است. افزایش در وضعیت سیستم باعث افزایش نرخ کاهش می شود و در نتیجه سیستم را به سمت صفر سوق می دهد.

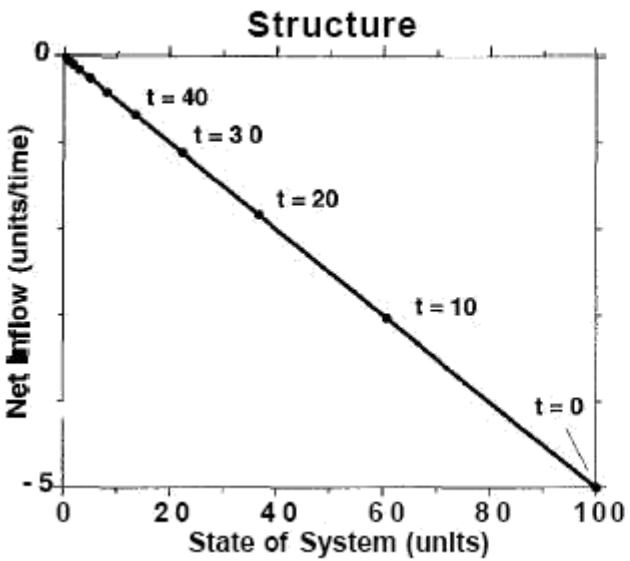
بازخورد منفی و کاهش نمایی

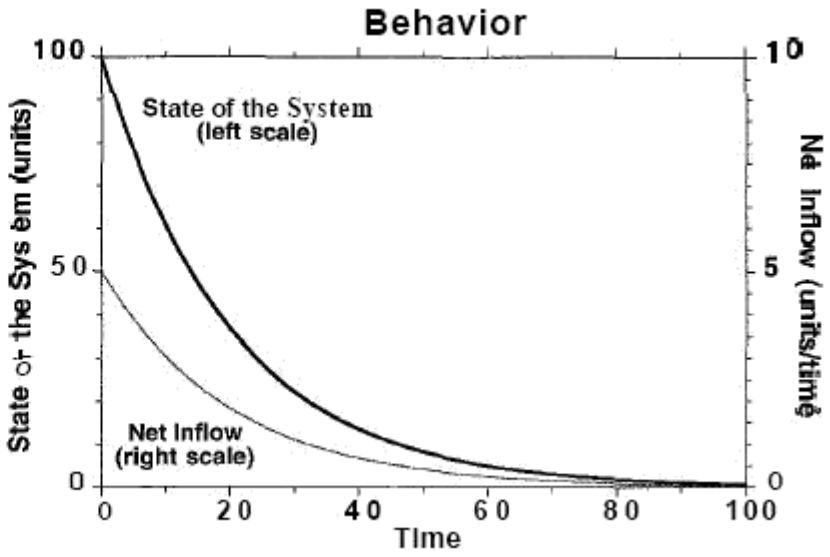
✓ سیستمی که دارای یک تعادل پایدار باشد همانند گویی است که در ته کاسه ای قرار دارد. هر گاه تعادل آن را به هم بزنیم دوباره به سمت نقطه تعادل شروع به حرکت می کند و در همان جا متوقف می شود.



بازخورد منفی و کاهش نمایی

مثال : کاهش نمایی – ساختار و رفتار

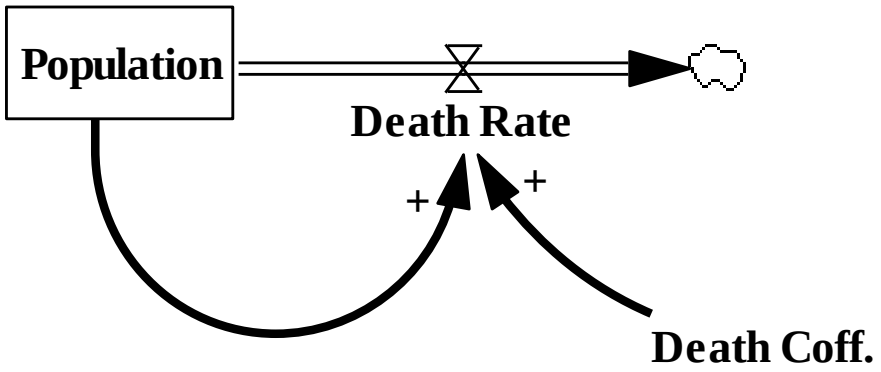




- ✓ کاهش نمایی با نرخ کسری کاهش ٪ 5 در هر واحد زمان با وضعیت اولیه 100 واحد.
- ✓ نرخ کاهش در ابتدا 5- واحد در هر دوره زمانی است و این نرخ کاملا با مقدار انباشت متناسب است.
- ✓ نقاط روی نمودار فازی وضعیت سیستم را پس از 10 دوره زمانی نشان می دهد.

هدف جو درجه یک

- ساده ترین ساختاری که باعث رفتار هدف جو می‌شود، ساختار فیدبکدار منفی درجه 1 است.
- مثال: کاهش جمعیت در اثر مرگ و میر



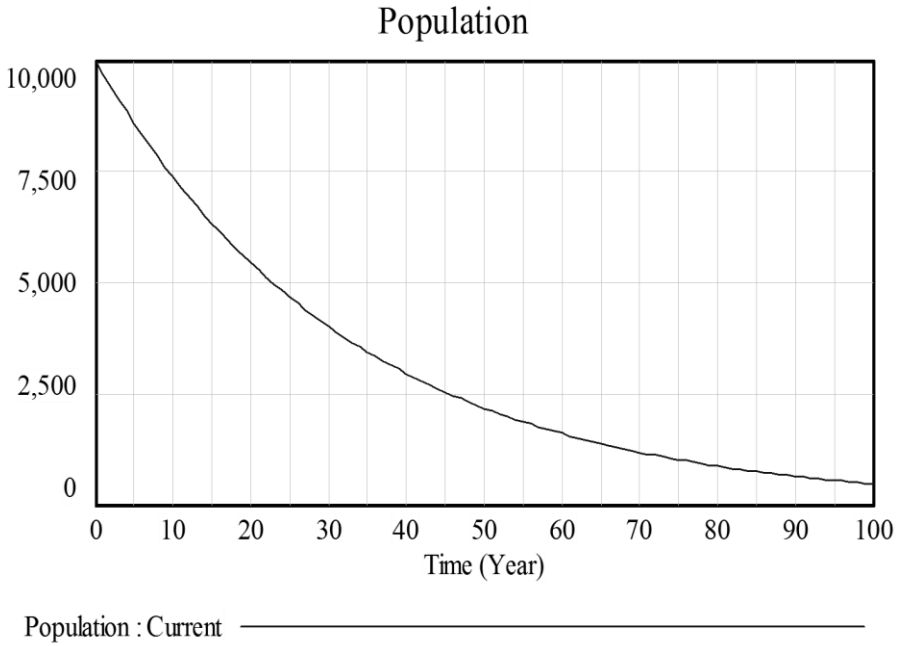
کاهش جمعیت (ادامه)

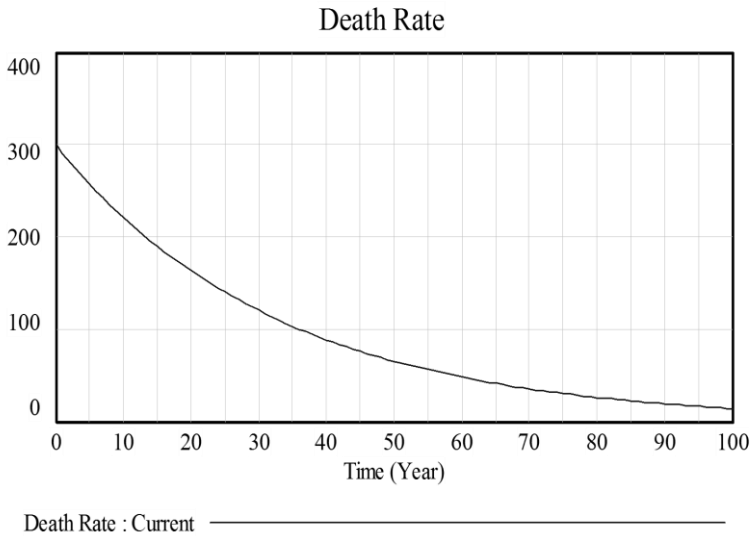
$$Population(t) = \int_{t_0}^{t} [-DeathRate(s)ds] + Population(t_0)$$

$$DeathRate(t) = (DeathCoff.) * Population(t)$$

$$Population(t) = Population(t_0) * E^{-(DeathCoff.)*t}$$

کاهش جمعیت (ادامه)





بازخورد منفی و کاهش نمایی

✓ در کل هدف تمام حلقه های منفی رسیدن به هدف صفر نیست. پس باید بتوان حلقه هایی با هدف غیر صفر تشکیل داد.

✓ در موارد کلی برای اصلاح این اشکال می توان توابعی (خطی یا غیر خطی) از وضعیت سیستم (S) و وضعیت مطلوب سیستم (S*) تشکیل داد.

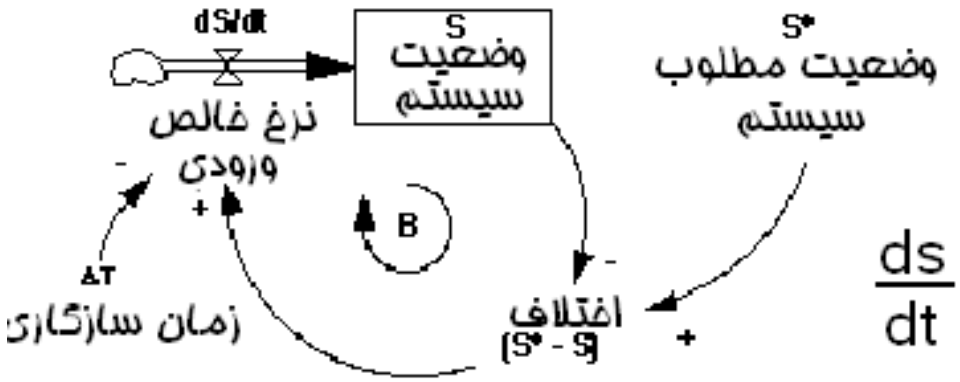
✓ ساده ترین فرمول برای این اقدام اصلاحی، اختلاف بین وضعیت مطلوب و وضعیت واقعی سیستم در هر دوره زمانی است.

جریان خالص = $f(S, S^*) = (S^* - S) / AT$

AT = زمان تعدیل

بازخورد منفی و کاهش نمایی

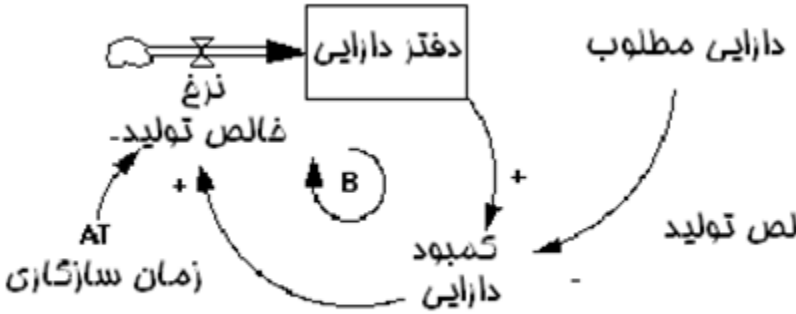
ساختار کلی حلقه های هدف گرا



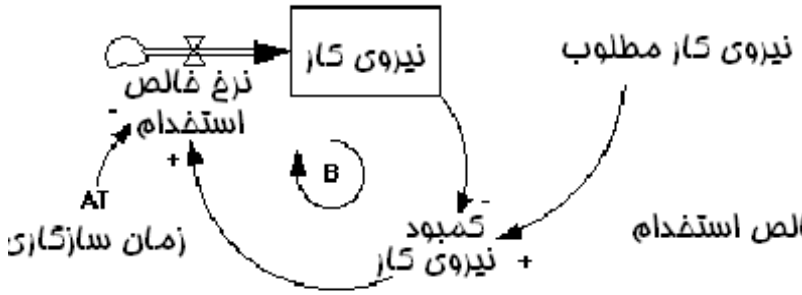
$$\frac{ds}{dt} = \text{نرخ خالص ورودی} = \frac{\text{اختلاف}}{AT} = \frac{[S^{*}-S]}{AT}$$

بازخورد منفی و کاهش نمایی

مثال



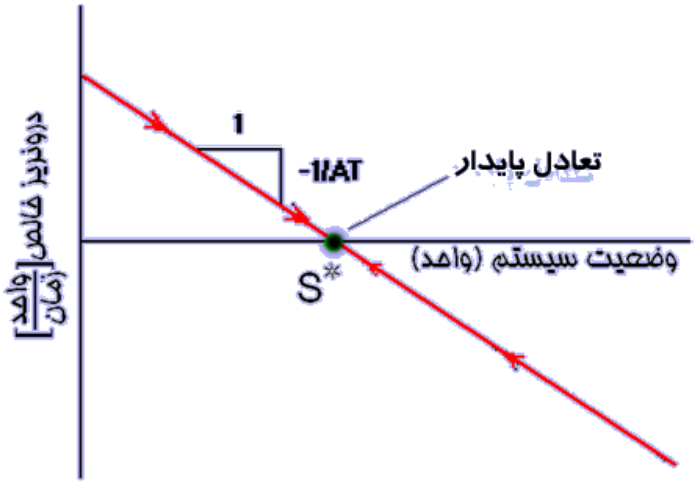
$$\text{نرخ خالص تولید} = \frac{\text{کمبود دارایی}}{AT} = \frac{\text{دارایی مطلوب} - \text{دفتر دارایی}}{AT}$$

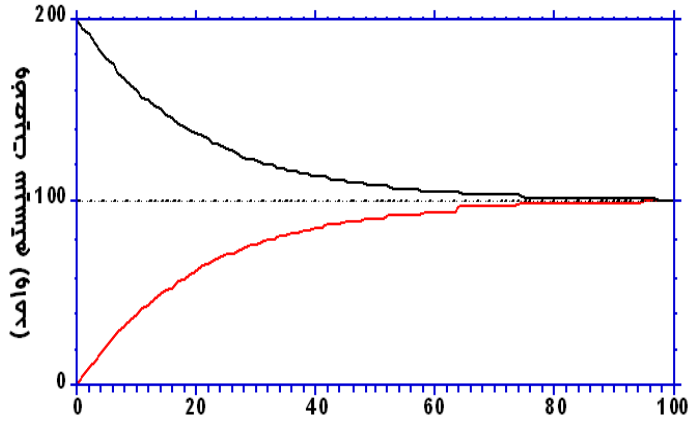


$$\text{نرخ خالص استخدام} = \frac{\text{کمبود نیروی کار}}{AT} = \frac{\text{نیروی کار} - \text{نیروی کار مطلوب}}{AT}$$

بازخورد منفی و کاهش نمایی

نمودار فازی و رفتار سیستمی برای حلقه های هدفگرا





✓ اگر S< S* باشد آنگاه جریان خالص، مثبت و وضعیت سیستم تا نقطه تعادل با نرخ کاهنده، افزایش می یابد.

✓اگر S= S* باشد آنگاه در نقطه تعادل پایدار هستیم.

✓ اگر S> S* باشد آنگاه جریان خالص، منفی و وضعیت سیستم تا نقطه تعادل با نرخ کاهنده، کاهش می یابد.

ثابتهای زمانی و نیمه عمرها

✓ همانند روند دو برابر شدن وضعیت سیستم در دوره های ثابت زمانی، در کاهش نمایی سیستم نیمی از مقدار وضعیت خود را در دوره های ثابت زمانی از دست می دهد.

✓ با حل معادله $f(S, S^*) = (S^* - S) / AT$ = جریان خالص رابطه زیر بدست می آید:

$$S(t) = S^* - (S^* - S(0)) \exp\left(\frac{-t}{AT}\right)$$

$(S^* - S(0))$ = فاصله ابتدایی بین وضعیت مطلوب و وضعیت واقعی سیستم

$(S^* - S(0)) \exp\left(\frac{-t}{AT}\right)$ = فاصله فعلی باقیمانده بین وضعیتهای مطلوب و واقعی

ثابتهای زمانی و نیمه عمرها

✓ **نیمه عمر :** زمانی است که مقدار خالص جریان به نصف مقدار اولیه سیستم ((S(0)) برسد.

$$0.5 = \exp\left(\frac{-t_h}{AT}\right) = \exp(-dt)$$

با حل کردن برای t_h خواهیم داشت :

$$t_h = AT\ln(2) = \frac{\ln(2)}{d} \approx 0.70At \approx \frac{70}{100d}$$

که شبیه همان قانون 70 برای رشد نمایی است. (نیمه عمر بوسیله ٪ 70 زمان تعدیل بدست می آید.)

سیستمهای حلقه چندگانه

✓ در این بخش می خواهیم تاثیر همزمان بازخورد مثبت و منفی بر روی رفتار سیستم را بررسی کنیم.

✓ بررسی رفتار یک سیستم چندگانه نوع اول : (بررسی یک جمعیت)

(P(0)، نرخ تولد خالص) انتگرال = جمعیت

نرخ تولد خالص = BR - DR

BR = نرخ تولد و DR = نرخ مرگ

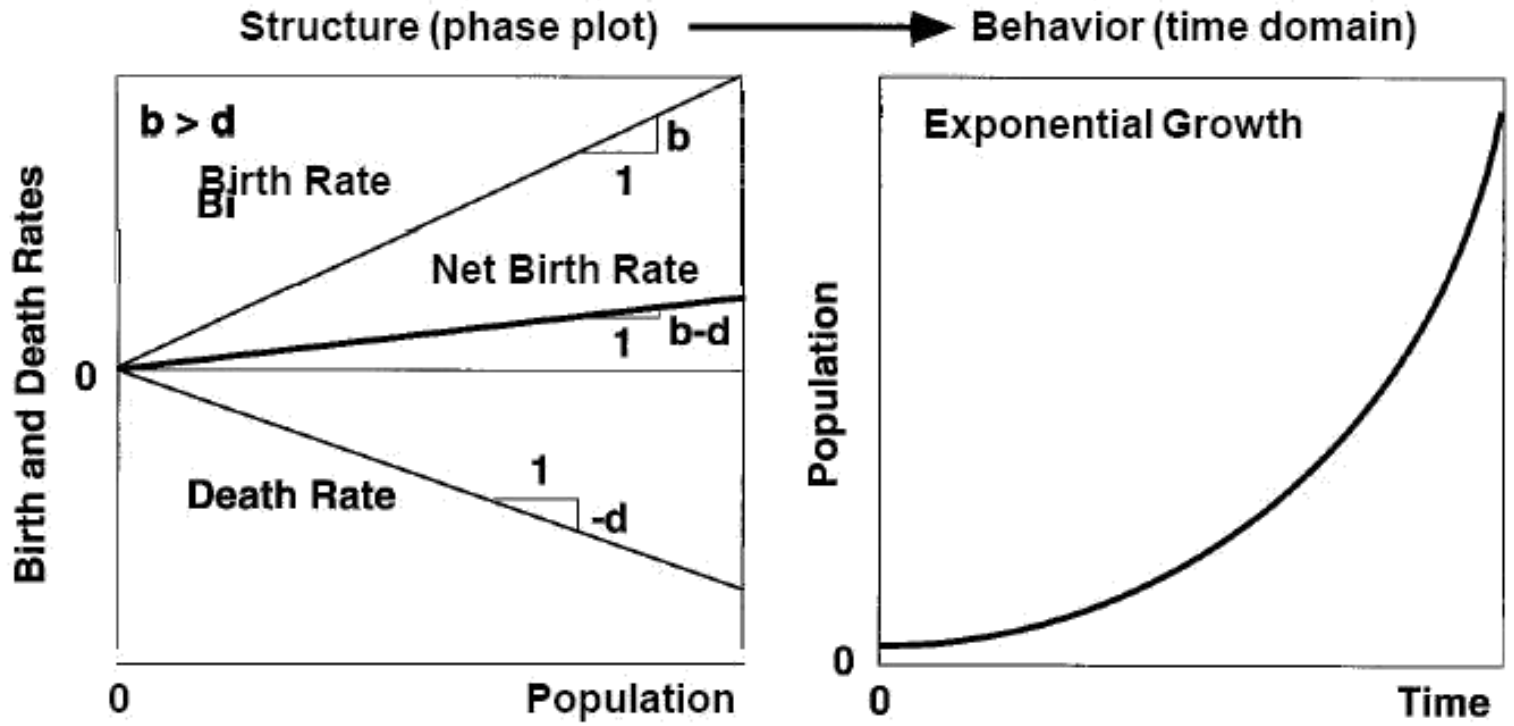
حال حالت خطی را در نظر می گیریم :

b = نرخ تولد نسبی

d = نرخ مرگ نسبی

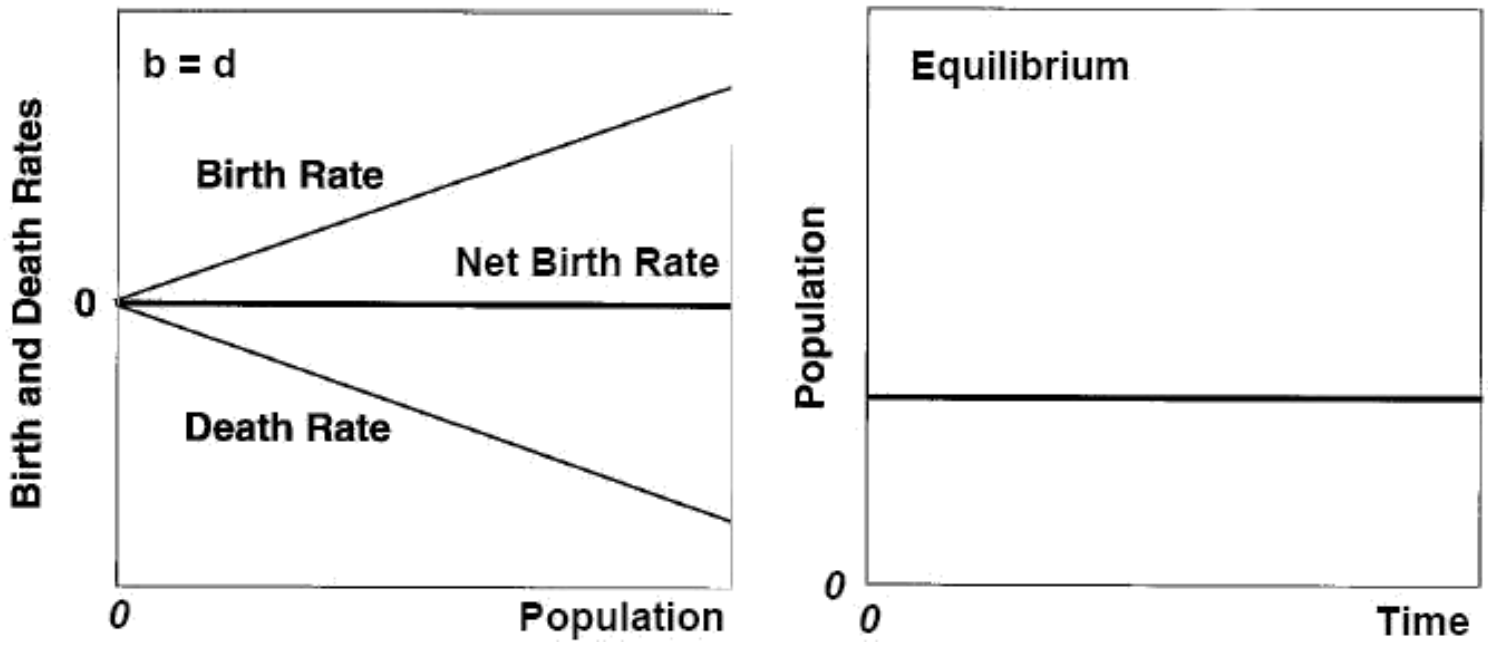
نرخ تولد خالص = bP - dP = (b - d)P

سیستمهای حلقه چندگانه



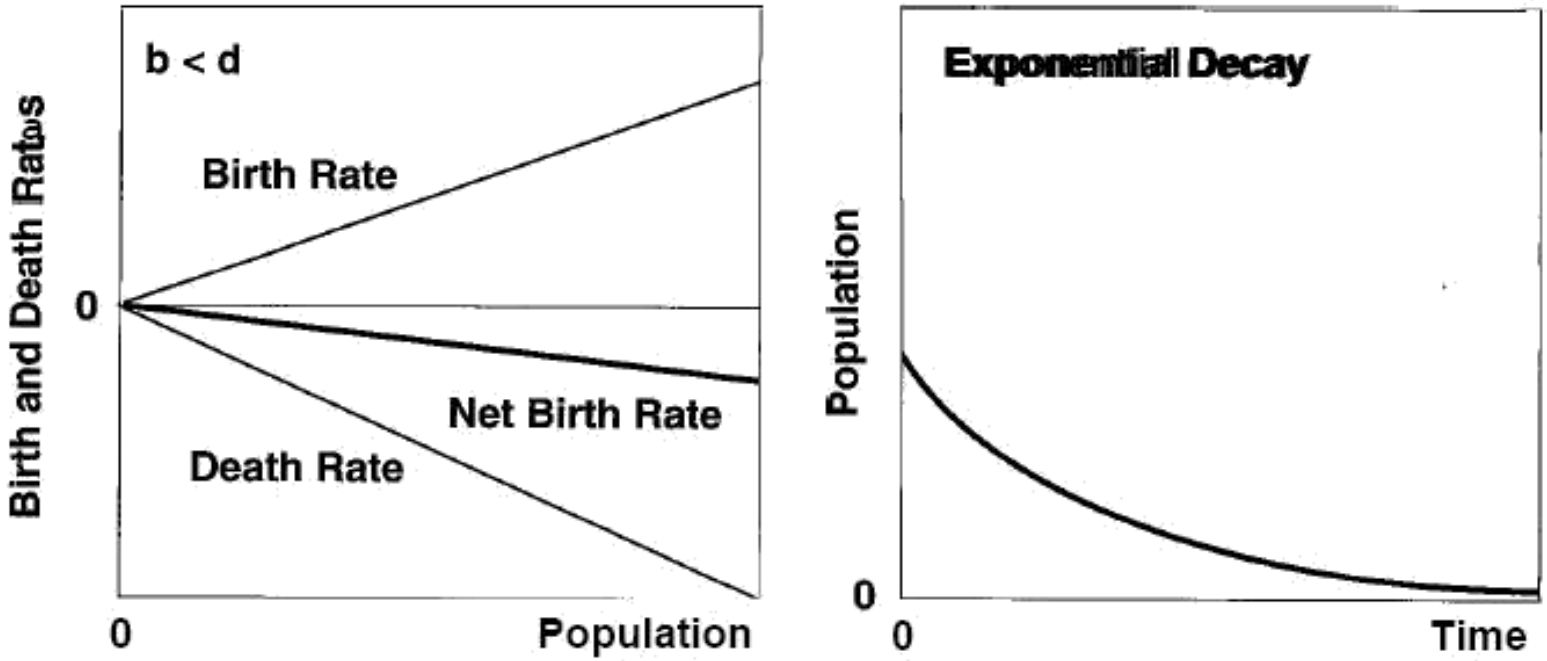
✓ اگر محیط دارای منابع فراوان باشد، تولد از مرگ بیشتر خواهد شد (b>d) و بنابراین جمعیت به صورت نمایی رشد می کند.

سیستمهای حلقه چندگانه



✓ اگر مرگ و تولد دقیقاً با هم برابر باشند (b=d) آنگاه جمعیت در تعادل است.

سیستمهای حلقه چندگانه



✓ اگر محیط به گونه ای باشد که مرگ از تولد بیشترباشد (b<d) آنگاه جمعیت به صورت نمایی به صفر کاهش می یابد.

سیستمهای حلقه چندگانه

- چون سیستم خطی است (b و d ثابت هستند) تسلط دو حلقه هیچگاه تغییر نمی کند (مثلاً جمعیت یا رشد می کند، یا ثابت می ماند و یا انقراض پیدا می کند)

- در دنیای واقعی، سیستمها از خطی بودن فاصله دارند. (مثلاً جمعیت با منابع فراوان، ابتدا رشد می کند سپس ثابت می شود و یا نوسان می کند)

- درک پویایی های سیستمهای واقعی، نیازمند مدلهای غیر خطی است.

سیستمهای نوع اول غیر خطی: رشد Sشکل

✓ یک کمیت حقیقی نمی تواند برای همیشه رشد کند. زیرا ظرفیتهای محیط بر آن تاثیر می گذارد.

✓ هنگامی که سیستم به محدودیتهایش برای رشد می رسد، یک تغییر غیر خطی که بازخورد منفی را بر بازخورد مثبت مسلط می کند رخ می دهد که نتیجه آن، یک تغییر ملایم از رشد نمایی به تعادل می باشد. (رشد S شکل)

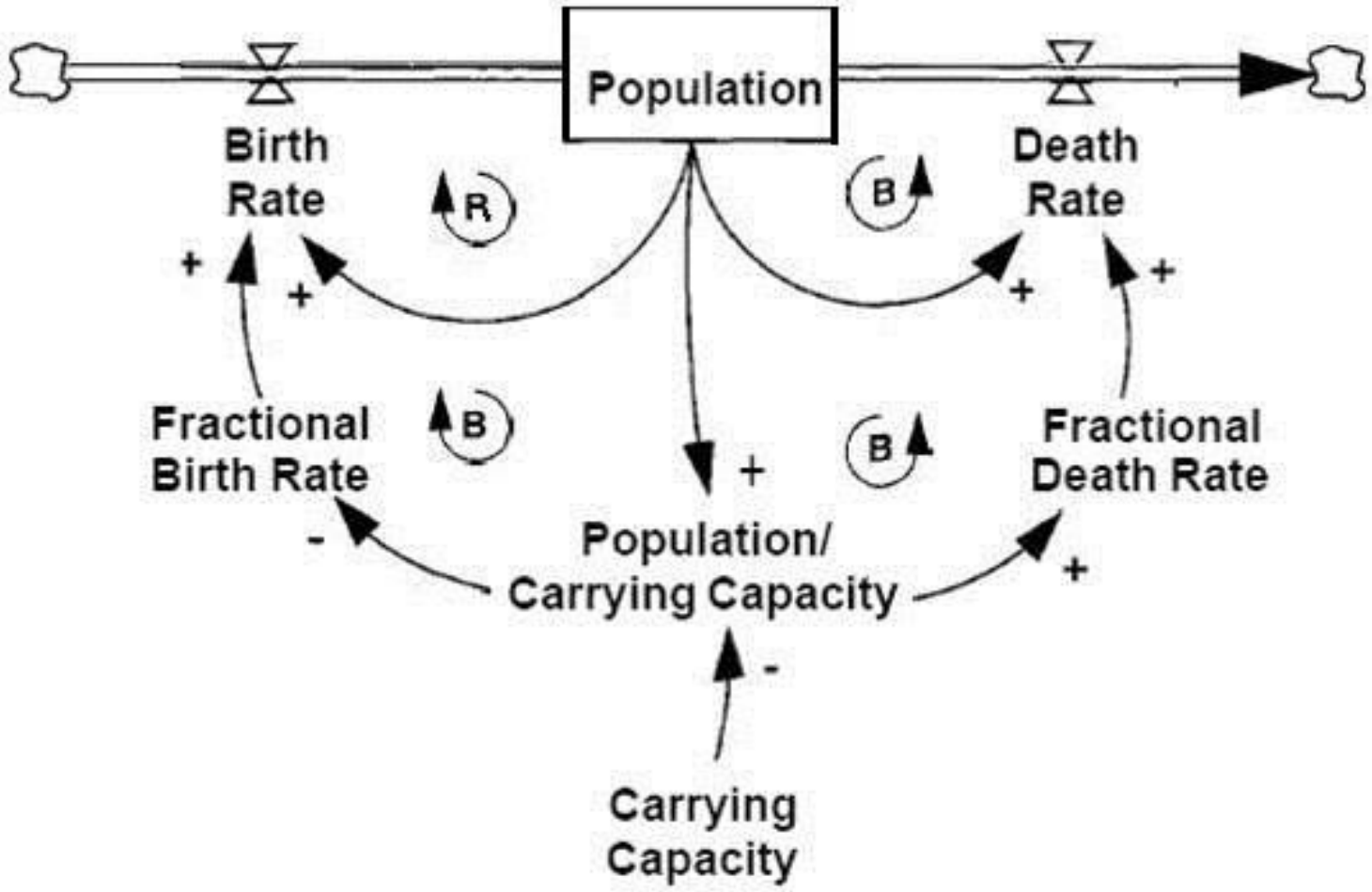
✓ در سیستمهای واقعی (غیر خطی) نرخ تولد نسبی و مرگ نسبی نمی توانند ثابت باشند و هنگامی که جمعیت به ظرفیت خود می رسد، تغییر پیدا می کنند. پس:

نرخ تولد خالص = BR - DR = b(P/C)P - d(P/C)P

b و d تابعهایی از نسبت جمعیت (P) به ظرفیت (C) می باشند.

سیستمهای نوع اول غیر خطی: رشد Sشکل

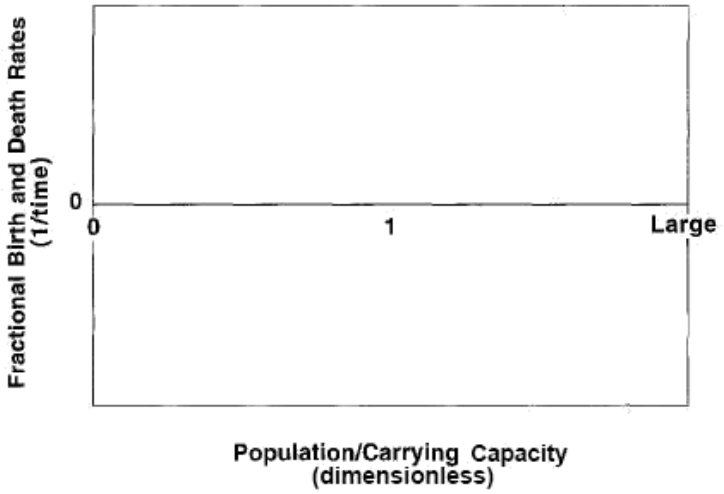
نمودار جریان برای رشد جمعیت در یک محیط معین



سیستمهای نوع اول غیر خطی: رشد Sشکل

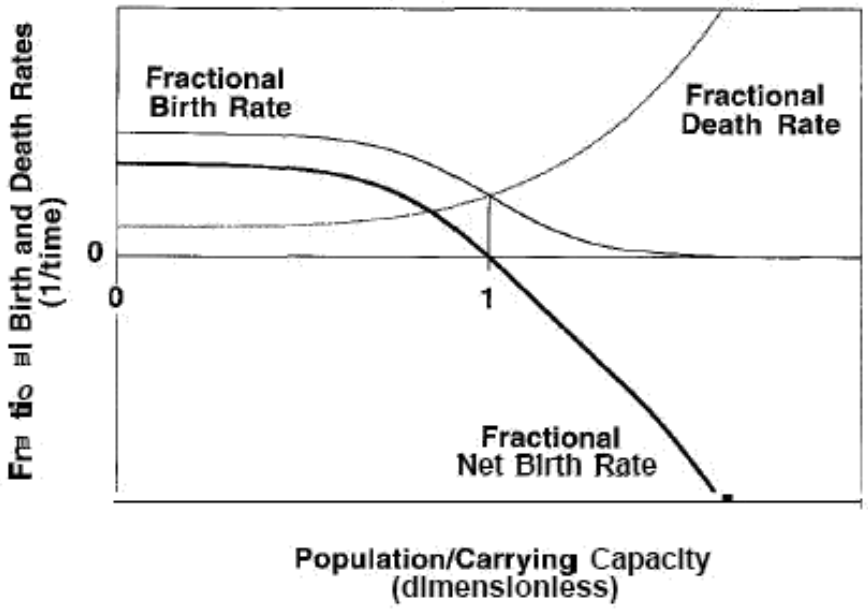
چالش : نرخهای تولد و مرگ غیر خطی

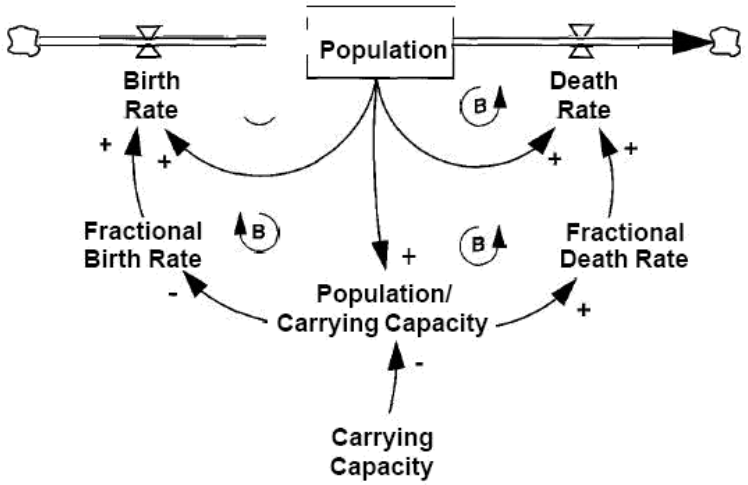
- ✓ نموداری را بکشید که شکل احتمالی نرخهای تولد و مرگ نسبی را برای جمعیتی که به ظرفیت خود می رسد، نشان دهد.
- ✓ حداکثر شرایط را برای برآوردهایتان در نظر بگیرید (یعنی اینکه برای جمعیتهای خیلی کم یا خیلی زیاد، نرخهای تولد و مرگ نسبی چگونه خواهند بود؟
- ✓ نرخ تولد خالص نسبی را رسم کنید (اختلاف بین نرخهای تولد و مرگ نسبی)



سیستمهای نوع اول غیر خطی: رشد Sشکل

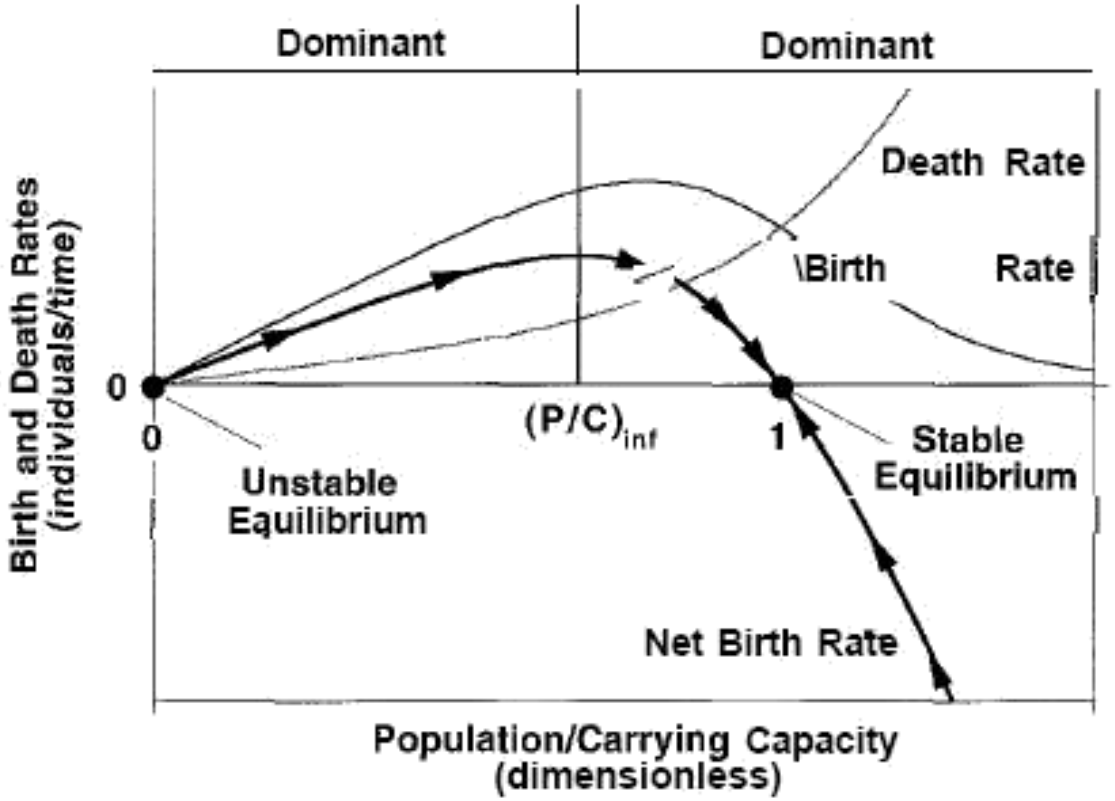
پاسخ چالش





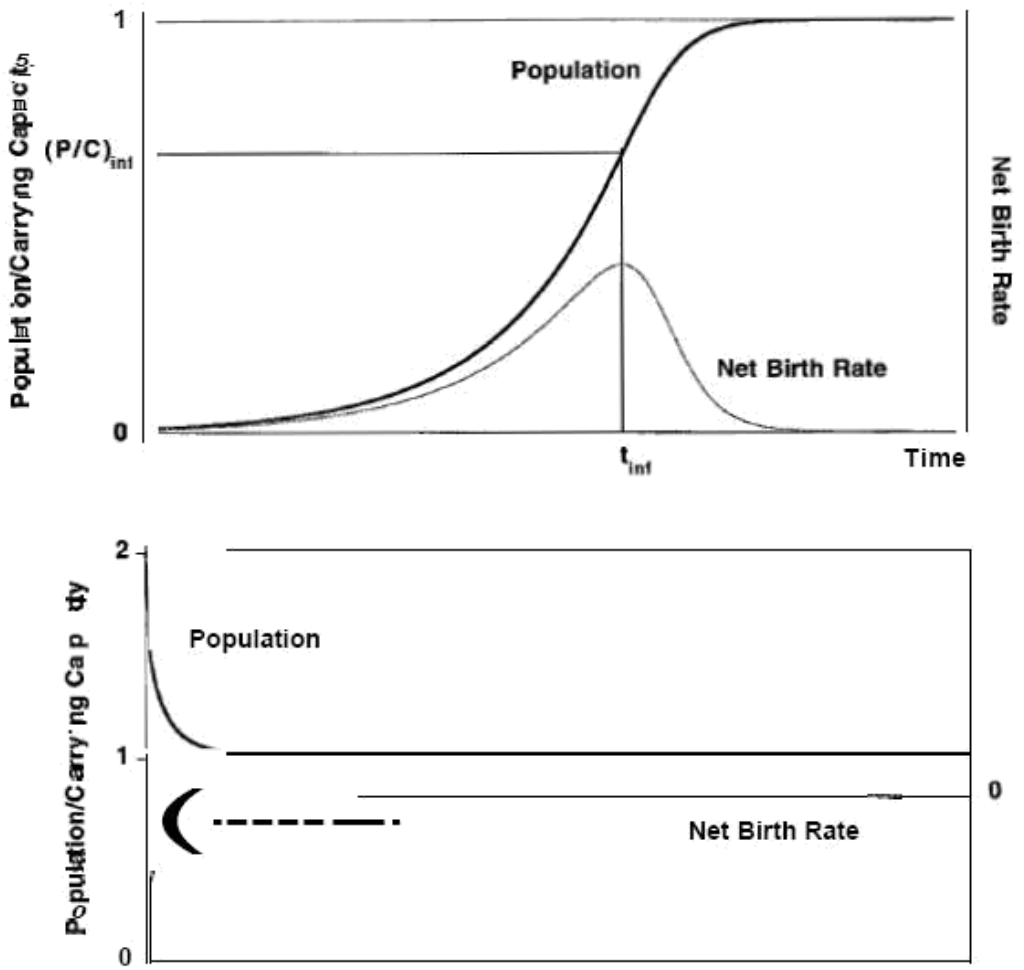
سیستمهای نوع اول غیر خطی: رشد Sشکل

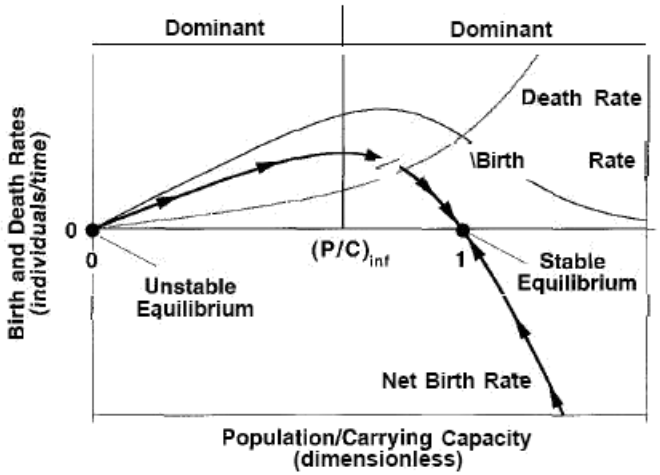
پاسخ چالش



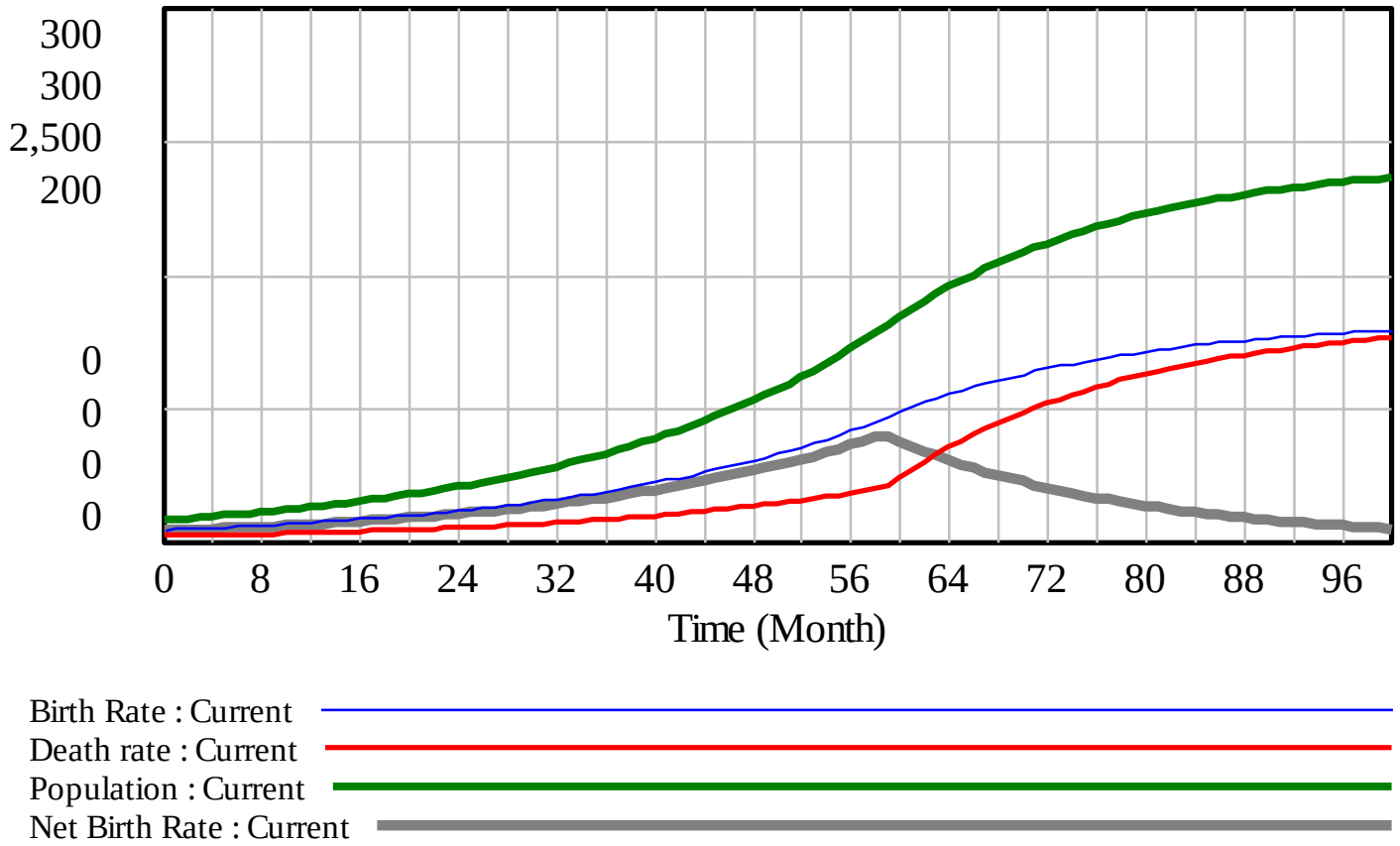
سیستمهای نوع اول غیر خطی: رشد Sشکل

پاسخ چالش

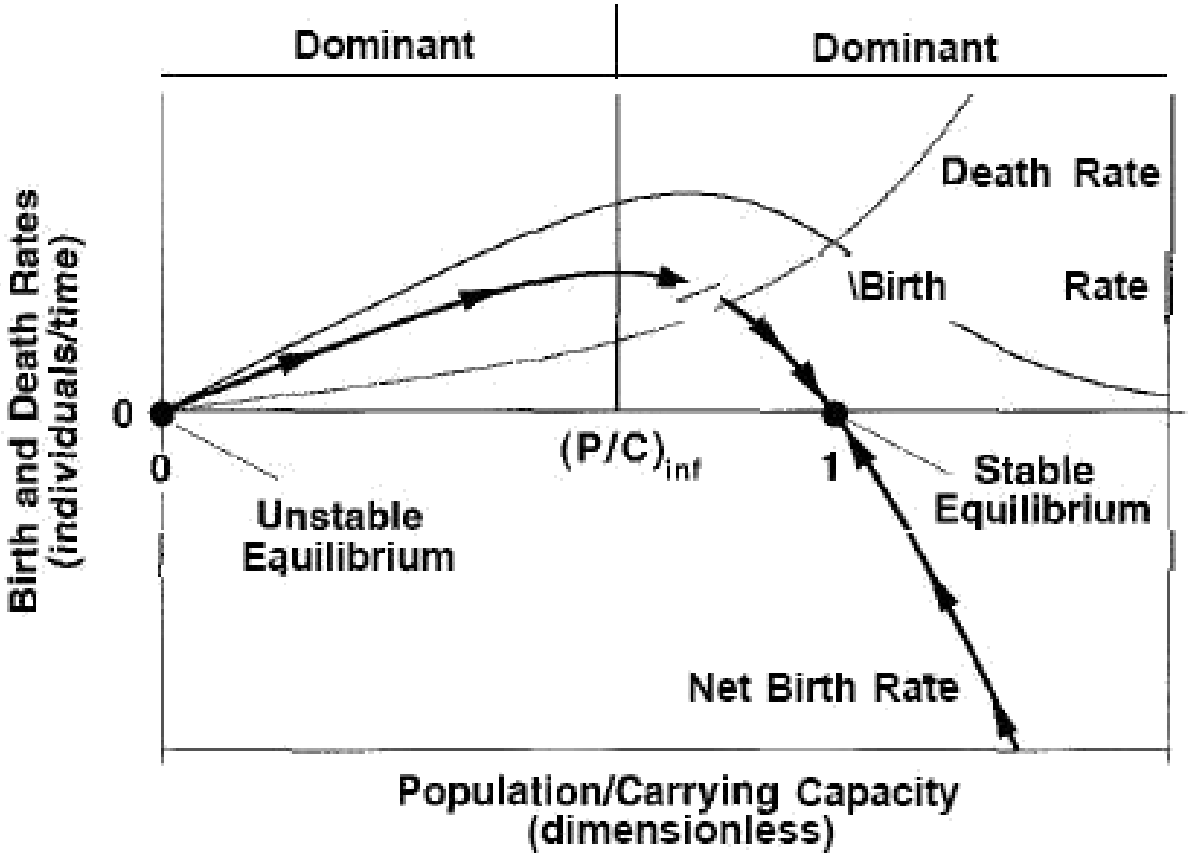




مدل جمعیت (ادامه)



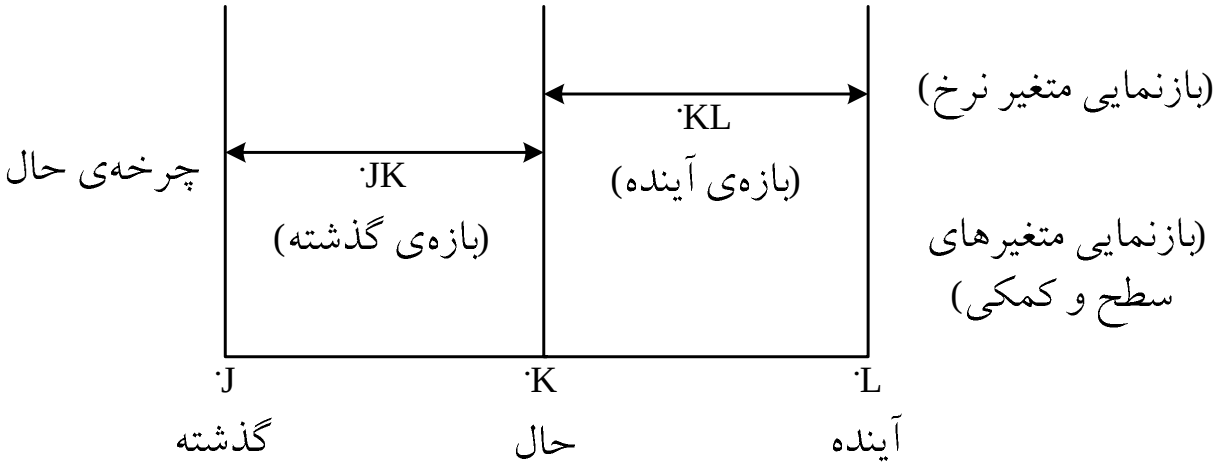
سیستمهای نوع اول قابلیت نوسان ندارند

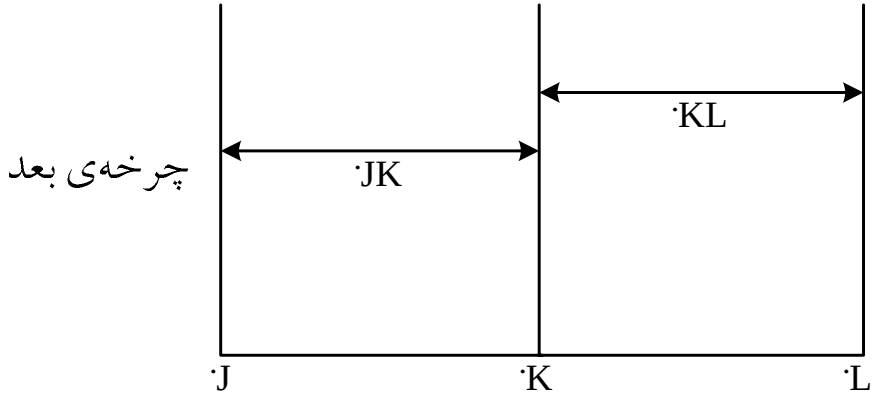


معادلات

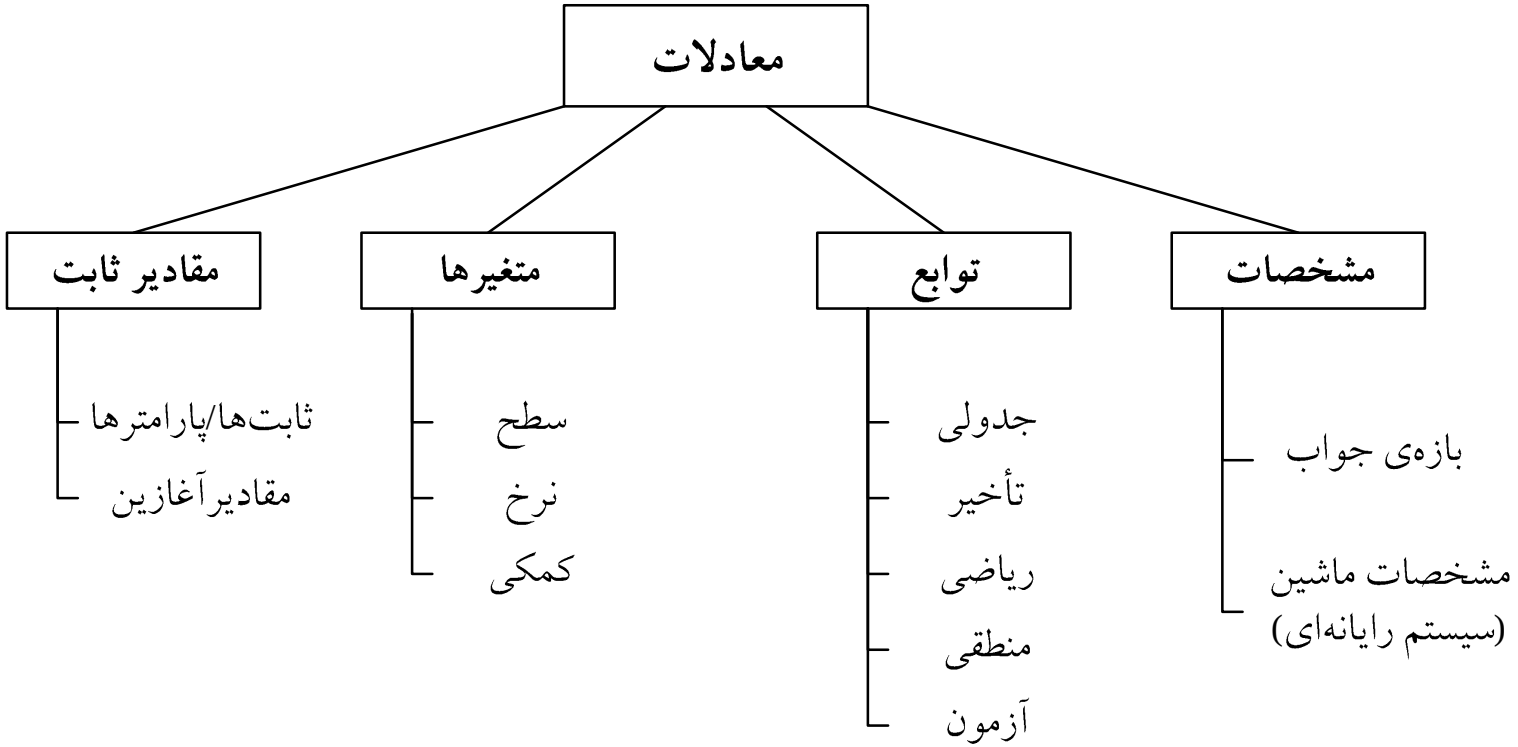
- نمایش‌های نموداری مسأله در مفهوم‌سازی ساختار سیاست به ما کمک می‌کند، اما برای شبیه‌سازی مدل با استفاده از کامپیوتر، باید این نمودارها به روابط ریاضی تبدیل شوند.
- معمولاً نمودار جریان پایه‌ای برای نوشتن معادلاتی است که برای شبیه‌سازی به کار می‌روند.
- نمایش معادلات براساس زبان شبیه‌سازی DYNAMO که مخفف Dynamic Models می‌باشد، صورت می‌گیرد.

نمایش زمان


(بازنمایی متغیر نرخ)
KL·
(بازه‌ی آینده)
چرخه‌ی حال
JK·
(بازه‌ی گذشته)
(بازنمایی متغیرهای
سطح و کمکی)
J·
K·
L·
گذشته
حال
آینده


KL·
چرخه‌ی بعد
JK·
J·
K·
L·

انواع معادلات



بازنمایی زمان

- ☑ متغیرهای سطح در طول زمان انباشته می‌شوند و می‌توان آنها را در هر لحظه از زمان اندازه‌گیری کرد. برای انجام شبیه‌سازی تنها مقادیر سطح در زمان گذشته و حال باید به شکل زیر بازنمایی شود:

LEVEL.J =متغیرسطح در زمان گذشته

LEVEL.K = متغیرسطح در زمان حال

- ☑ متغیرهای نرخ در طول یک بازه‌ی زمانی اندازه‌گیری می‌شوند. متغیرهای نرخ برای بازه‌های زمانی گذشته و آینده و به صورت زیر بازنمایی می‌شوند:

RATE.JK =متغیرنرخ دربازه‌ی زمانی گذشته

RATE.KL =متغیرنرخ در بازه‌ی زمانی آینده

- ☑ متغیرهای کمکی در یک لحظه‌ی مشخص از زمان اندازه گیری می‌شوند و تنها برای زمان حال بازنمایی می‌شوند:

AUXILLIARY.K =متغیر کمکی در زمان حال

انواع معادلات

انواع معادلات در مدل پویایی‌های سیستم (DYNAMO) عبارتند از :

- ☑ L : **معادله‌ی سطح**
- ☑ N : **تخصیص یا محاسبه‌ی مقدار آغازین**
- ☑ R : **معادله‌ی نرخ**
- ☑ A : **معادله‌ی کمکی**
- ☑ C : **معادله‌ی ثابت**
- ☑ T : **تخصیص مقادیر Y در جدول**
- ☑ X : **ادامه‌ی معادله**

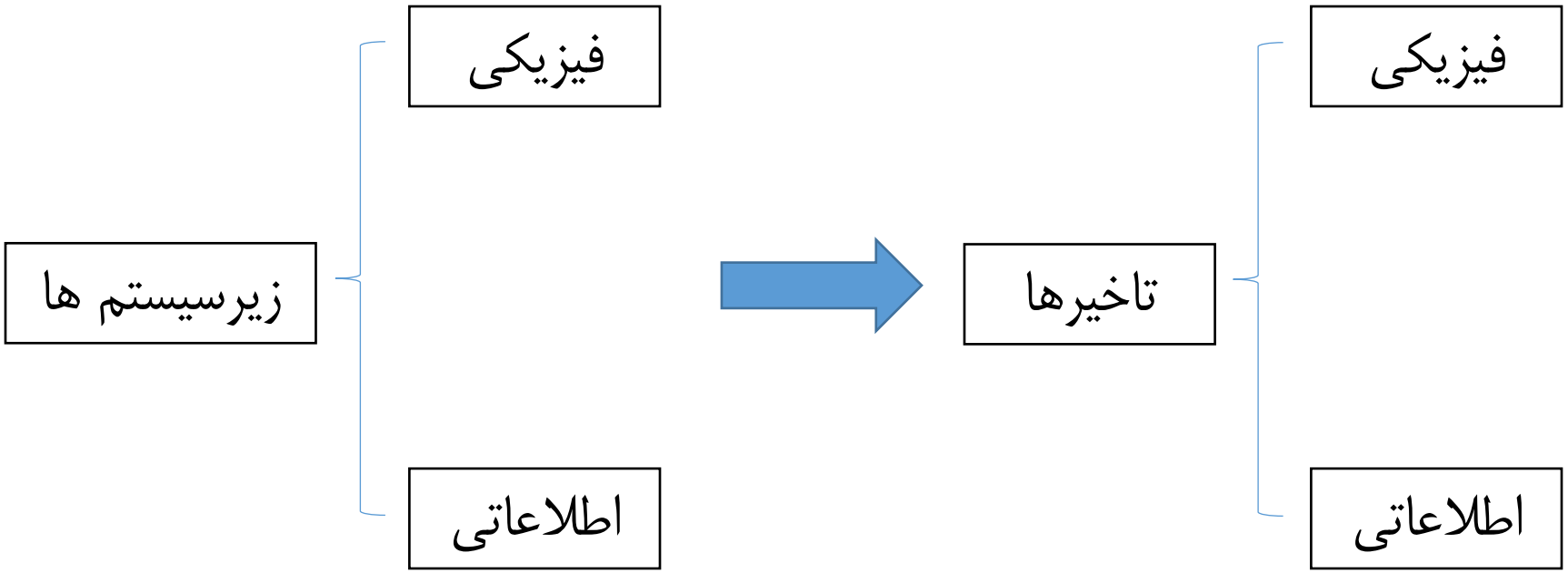
معادله‌ی سطح در قالب DYNAMO

☑ **قالب عمومی معادله‌ی سطح به شکل زیر است:**

L LEVEL.K = LEVEL.J + DT × (INFLOW.JK – OUTFLOW.JK)

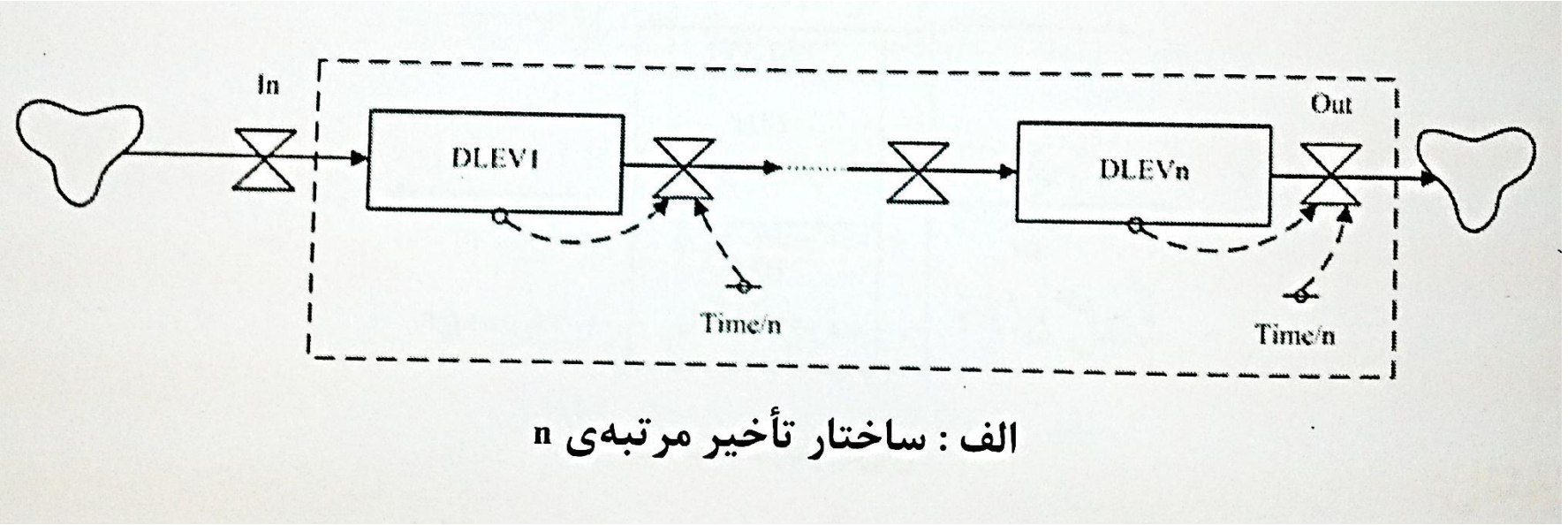
L INV.K = INV.J + DT × (OR.JK – SR.JK)

تاخیرها و هموارسازها



تاخیرات فیزیکی/مواد

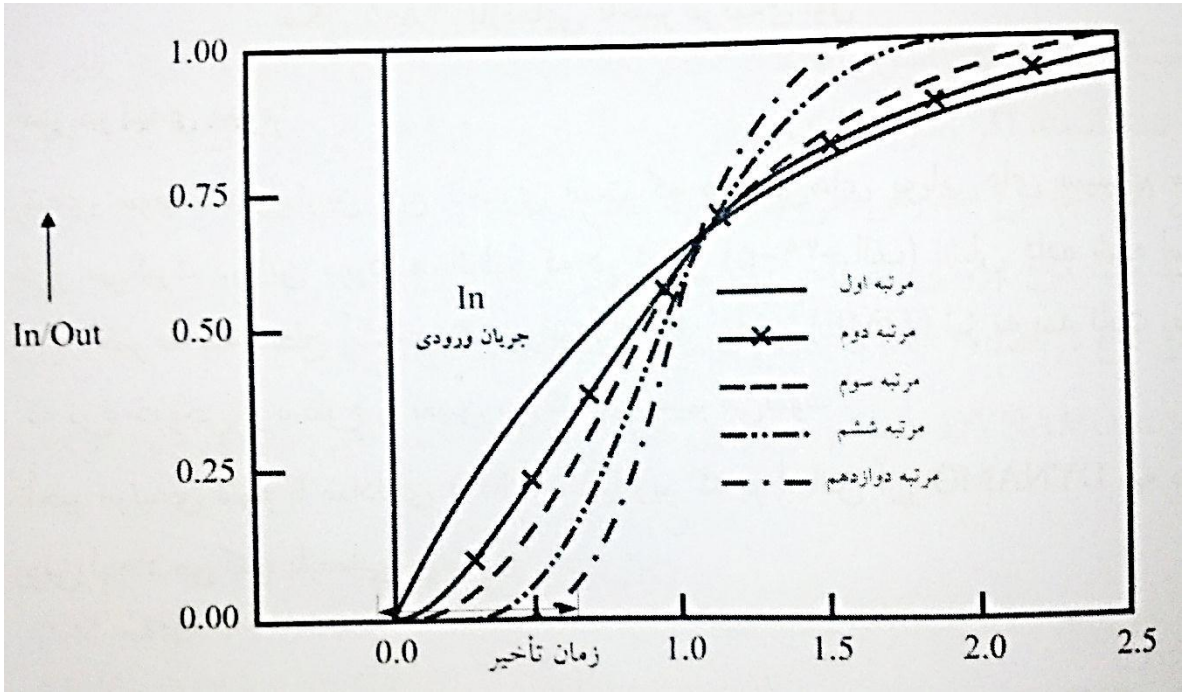
- در مسیر جریان های فیزیکی رخ می دهند.
- مثال: تاخیر در تحویل، تاخیر در انجام سفارشات، تاخیر دریافت نامه‌ها، تاخیر در ساخت و ساز و ...
- هر تاخیر از یک نرخ خروجی و مجموعه ای از متغیرهای سطح و نرخ میانی و یک نرخ ورودی تشکیل می‌شود.



الف : ساختار تأخیر مرتبه‌ی n

تاخیرات فیزیکی/مواد

- با توجه به تعداد متغیرهای سطح میانی که در درون تاخیر وجود دارد، تاخیر می‌تواند از مرتبه یک، دو، سه و بالاتر باشد.
- همانطور که از شکل زیر مشخص است، هر قدر مرتبه‌ی تاخیر بالاتر باشد، متغیر نرخ خروجی به منحنی S شکل بیشتر شبیه می شود.
- رفتار تاخیر مرتبه اول به طور قابل توجهی با تاخیر مرتبه سوم متفاوت است. این دو، تاخیراتی هستند که در اغلب مواقع مورد استفاده قرار می‌گیرند.



تاخیرات فیزیکی/مواد

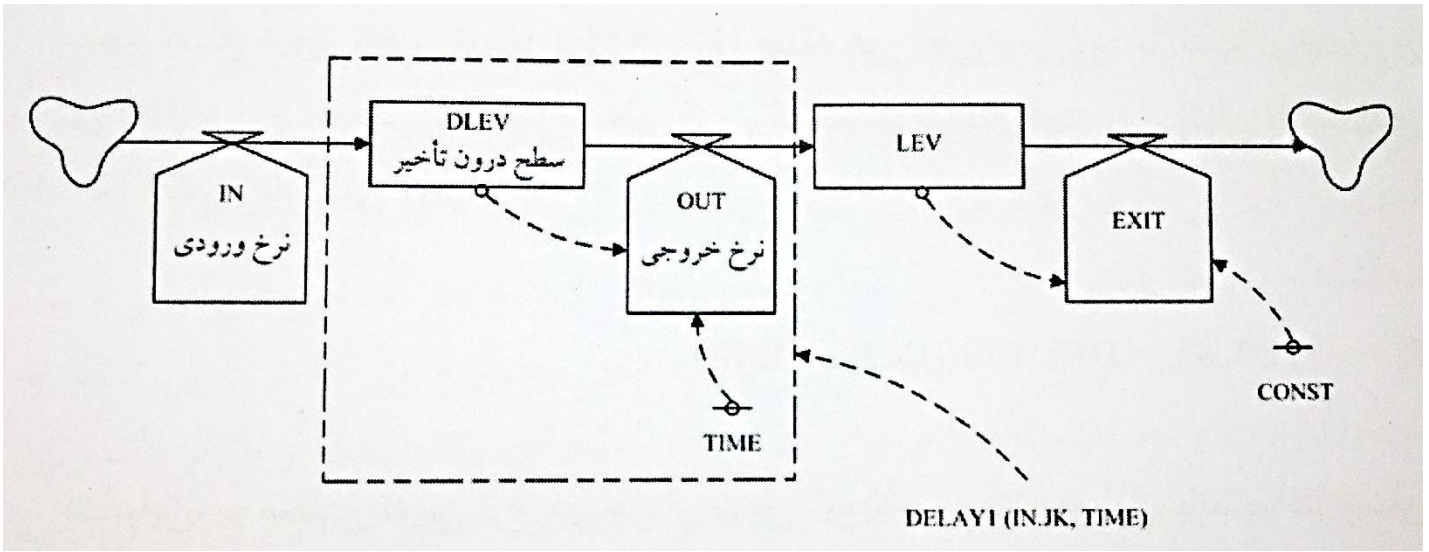
تاخیر مرتبه اول

- تاخیر مرتبه اول در DYNAMO با DELAY1 بازنمایی میشود.
- رفتار این نوع تاخیر،رفتار هدفجوی مجانبی را بروز می دهد.

L DLEV.K=DLEV.J + DT×(IN.JK–OUT.JK)

N DLEV=TIME×IN

R OUT.KL=DLEV.K/TIME



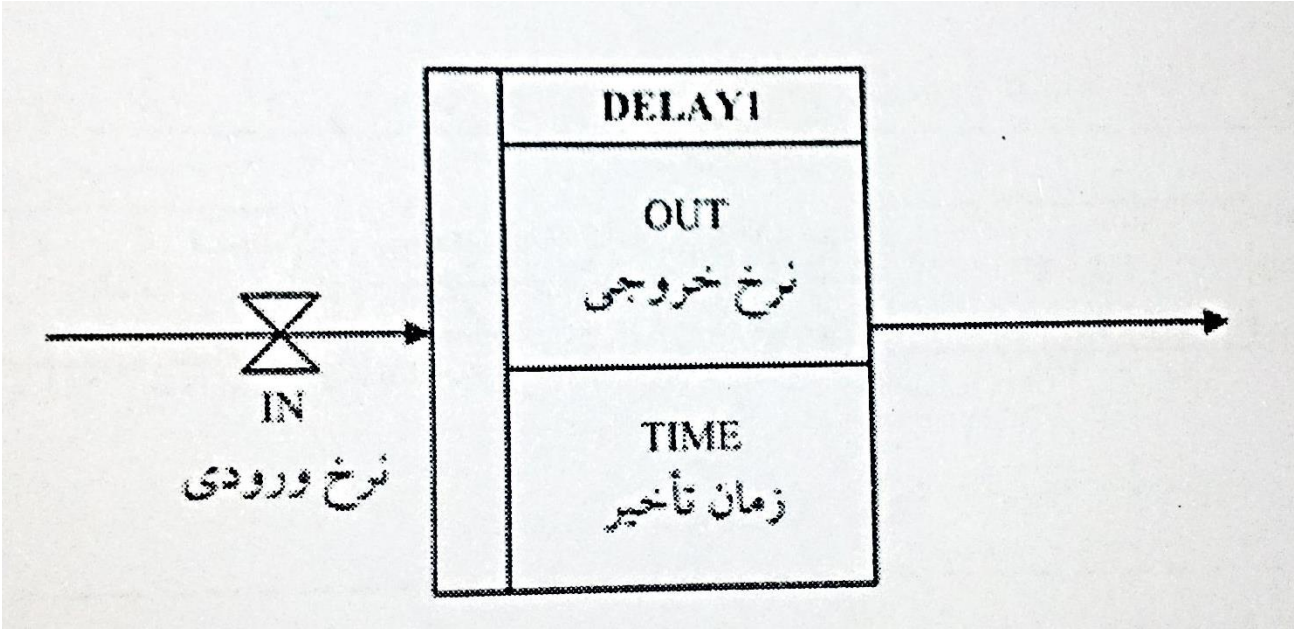
بازنمایی نمودار جریان

تاخیرات فیزیکی/مواد

تاخیر مرتبه اول

ساختار فوق را می توان با معادله ی DYNAMO زیر بازنمایی کرد:

R OUT.KL=DELAY1(IN.JK,TIME)

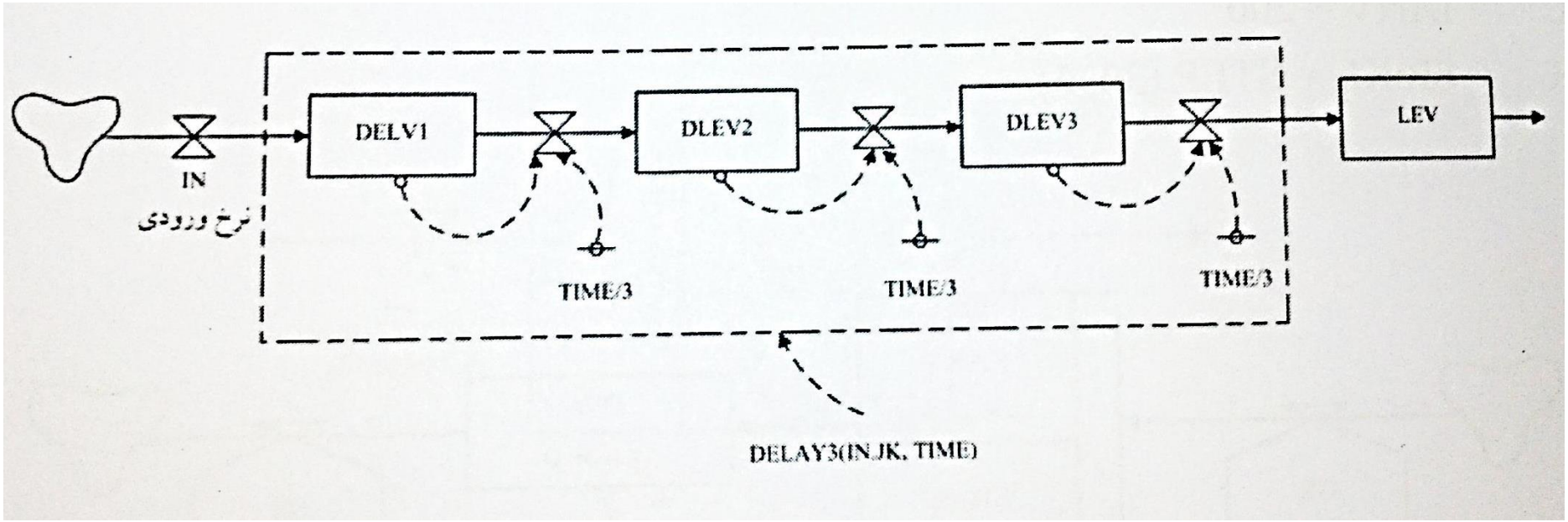


نماد نمودار جریان

تاخیرات فیزیکی/مواد

تاخیر مرتبه سوم

- متداول تیرن تابع تاخیری است که در مدل های پویایی های سیستم مورد استفاده قرار می گیرد.
- رفتار تاخیر مرتبه سوم نمایی است.

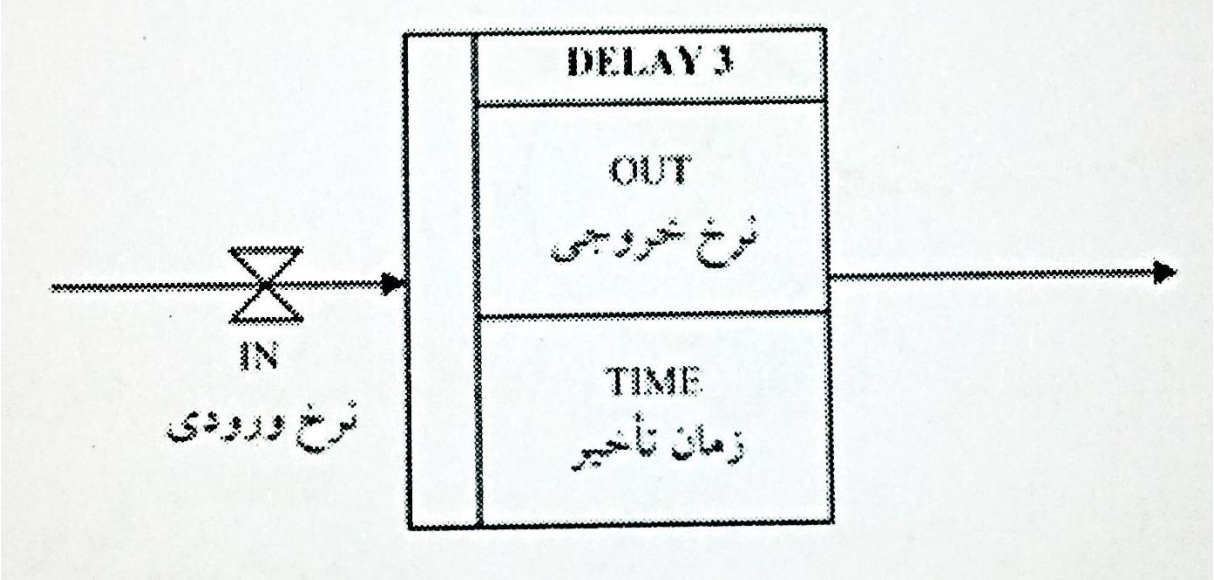


تجزیه‌ی سطح درون تاخیر

تاخیرات فیزیکی/مواد

تاخیر مرتبه سوم

R OUT.KL=DELAY3(IN.JK,TIME)

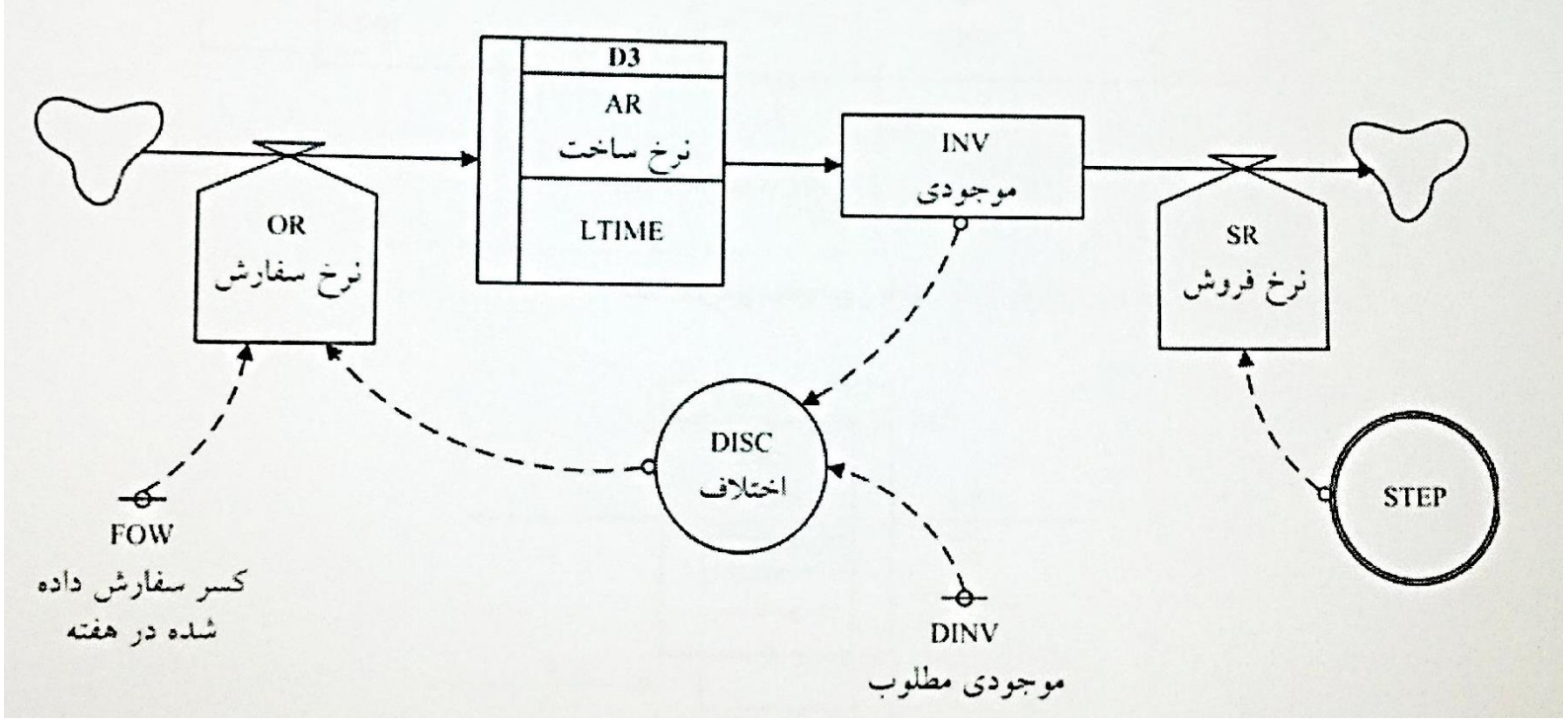


نماد نمودار جریان

تاخیرات فیزیکی/مواد

تاخیر مرتبه سوم

مثال: در سیستم موجودی اگر زمان تدارک (پیش زمان) خرید (LTIME) وجود داشته باشد، آنگاه مطابق شکل بعد، نرخ سفارش‌دهی (OR) به طور مستقیم به درون موجودی سراریز نمی‌شود. OR همانند یک نرخ ورودی به تاخیر مرتبه‌ی سوم عمل کرده و با خروجی DELAY3 یا به عبارتی نرخ دریافت (AR) به سطح موجودی (LEV) جریان می‌یابد.

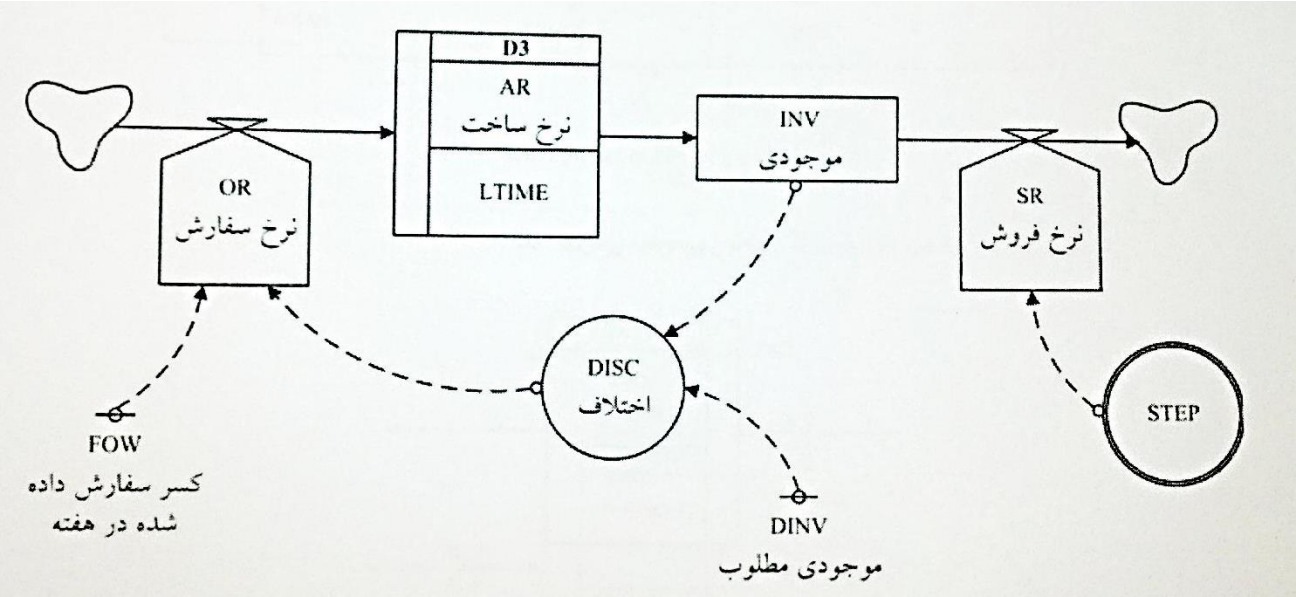


تاخیرات فیزیکی/مواد

تاخیر مرتبه سوم

و معادلات این مثال:

```
L   INV.K=INV.J+DT×(AR.JK-SR.JK)
N   INV=DINV
R   AR.KL=DELAY3(OR.JK,LTIME)
R   OR.KL=FOW×DISC.K
C   FOW=0.5
A   DISC.K=DINV-INV.K
C   DINV=200
R   SR.KL=STEP(30,5)
```

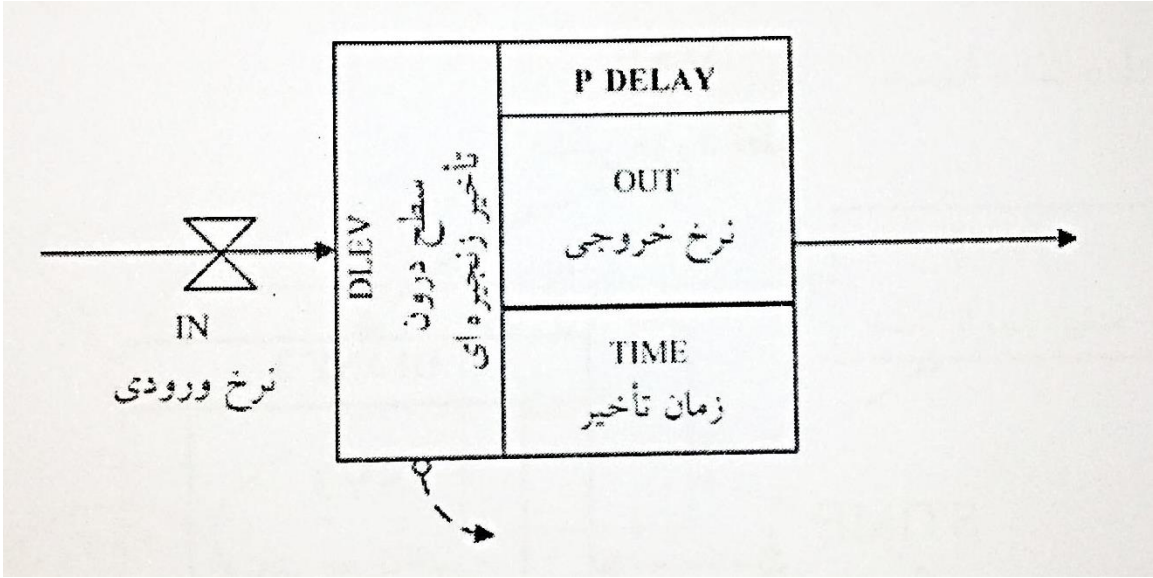


تاخیرات فیزیکی/مواد

تاخیر زنجیره ای

- در DELAY3 سطح میانی در تاخیر که همان DLEV1+DLEV2+DLEV3 است، نوشته نمی‌شود. اگر مدل‌ساز به ترسیم نمودار یا محاسبه‌ی سطح درون تاخیر یعنی DLEV علاقه‌مند باشد، آنگاه می‌توان تابع تاخیر زنجیره‌ای را که به صورت زیر بازنمایی می‌شود، به کار برد:

R OUT.KL =DELAYP (IN.JK ، TIME ، DLEV.K)



نماد نمودار جریان برای تاخیر زنجیره‌ای (نماد استاندارد DELAYP)

تاخیرات اطلاعاتی

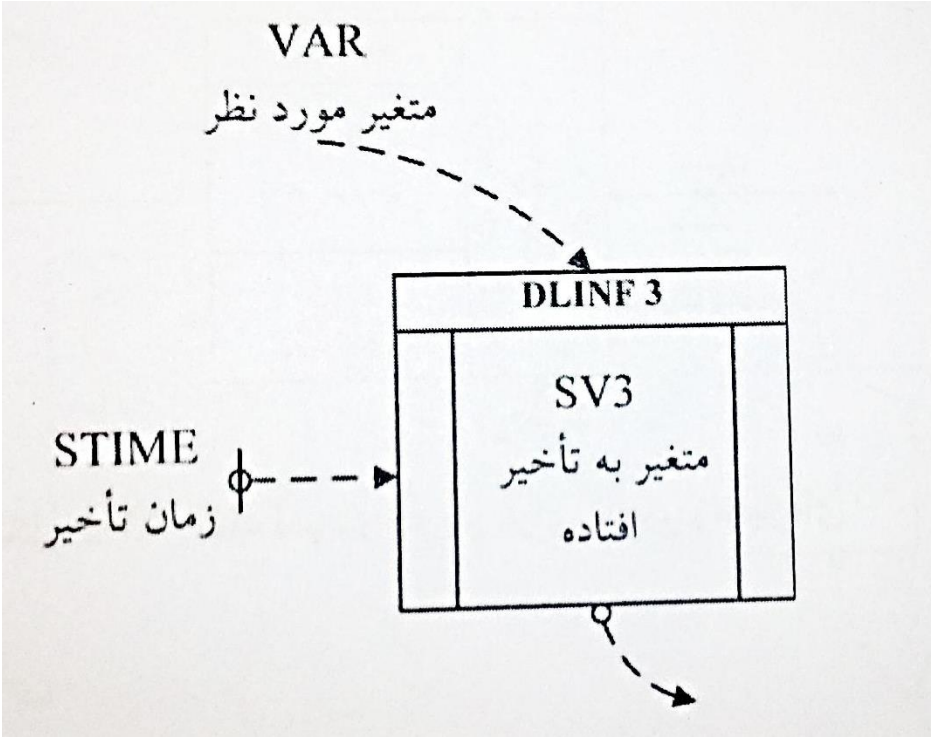
- وقفه های زمانی موجود در مسیر جریان‌های اطلاعاتی، از طریق تاخیرات اطلاعاتی بازنمایی می شوند.
- برای مثال، ممکن است اطلاعات نرخ فروش به طور آنی و در هر لحظه در دسترس مدیریت ارشد نباشد.
- متداولترین تاخیر اطلاعاتی مورد استفاده، تاخیر اطلاعاتی مرتبه سوم DLINF3 است. همچنین تابع SMOOTH به منظور میانگین‌گیری (هموارسازی) اطلاعات، به عنوان تاخیر اطلاعاتی مرتبه اول مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- توجه به این نکته لازم است که تاخیر مواد به محاسبه یک متغیر نرخ منجر می شود، در حالی که تاخیر اطلاعاتی به محاسبه یک متغیر کمکی می انجامد و به شکل یک معادله کمکی نوشته می شود.

تاخیرات اطلاعاتی

تاخیرمرتبه سوم

- رفتار DLINF3 مشابه DELAY3 است، اما باید آن را تنها در مورد وقفه‌های اطلاعاتی به کار برد.

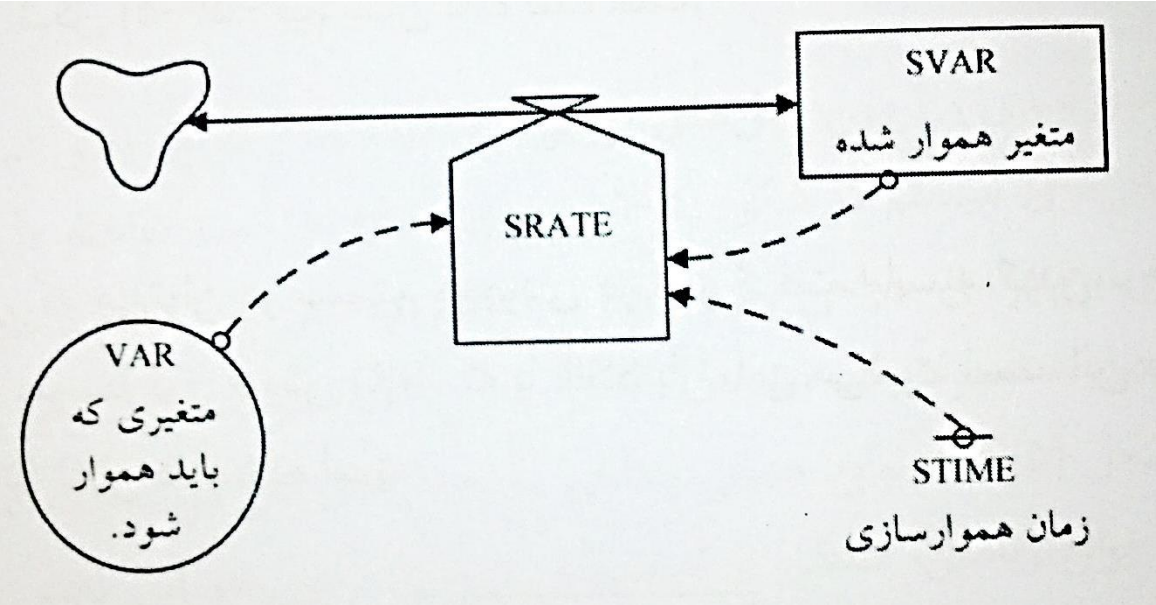
```
A    SV3.K=DLINF3(VAR.K،STIME)
```



تاخیرات اطلاعاتی

تاخیرمرتبه اول (هموارسازی اطلاعات)

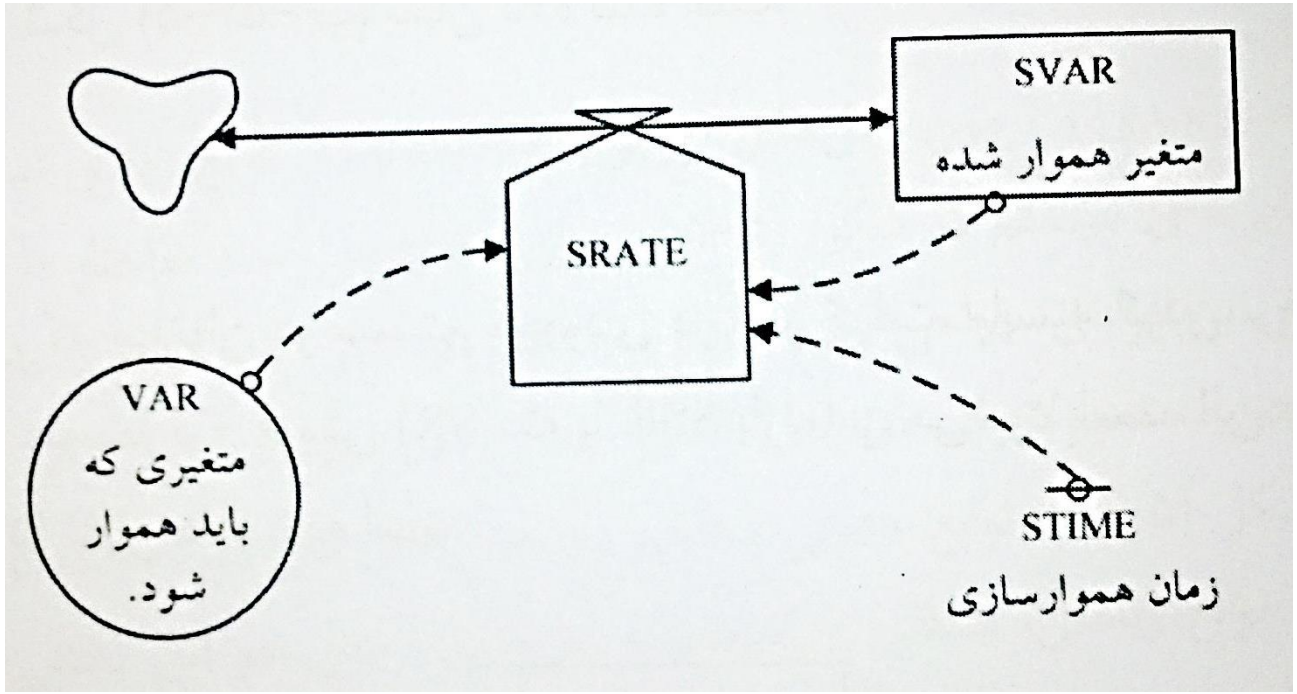
- هموارسازی اطلاعات،تغییرات شدید، نامنظم و تصادفی متغیرها را تعدیل می کند.
- میانگین یک متغیر بر اساس یک مقدار جمع محاسبه می شود بنابراین یک انباشت محسوب می شود.



نمودار جریان هموار سازی

تاخیرات اطلاعاتی

تاخیرمرتبه اول (هموارسازی اطلاعات)



$$L \quad SVAR.K = SVAR.J + DT \times SRATE.JK$$

$$N \quad SVAR = VAR$$

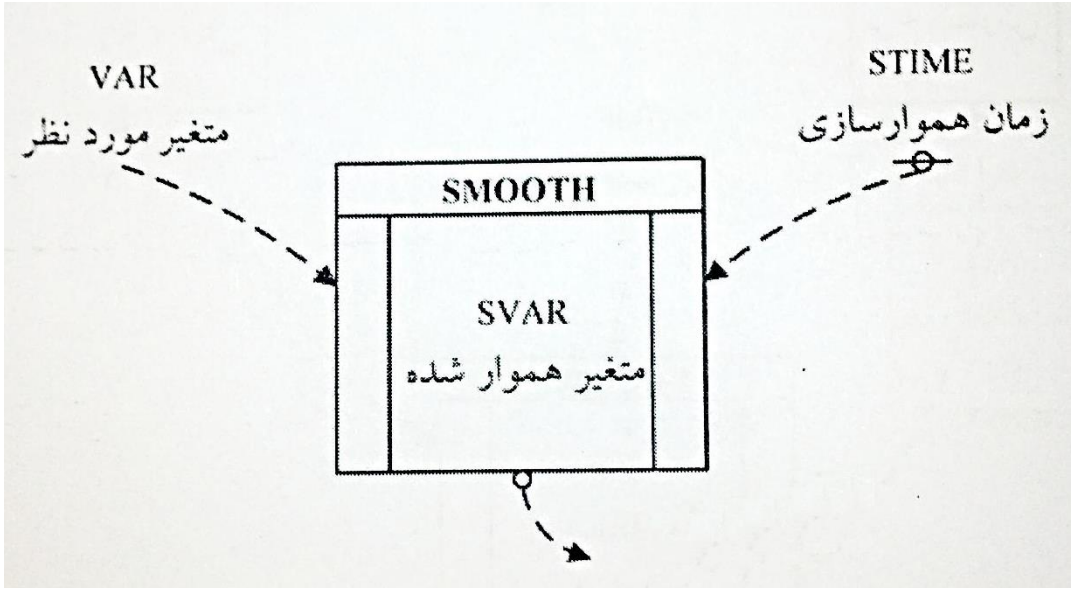
$$R \quad SRATE.KL = (VAR.K - SVAR.K)/STIME$$

تاخیرات اطلاعاتی

تاخیرمرتبه اول (هموارسازی اطلاعات)

- معادلات فوق را می‌توان با نوشتن یک معادله‌ی کمکی ساده برای تابع SMOOTH جایگزین نمود:

SVAR.K = SMOOTH(VAR.K،STIME)

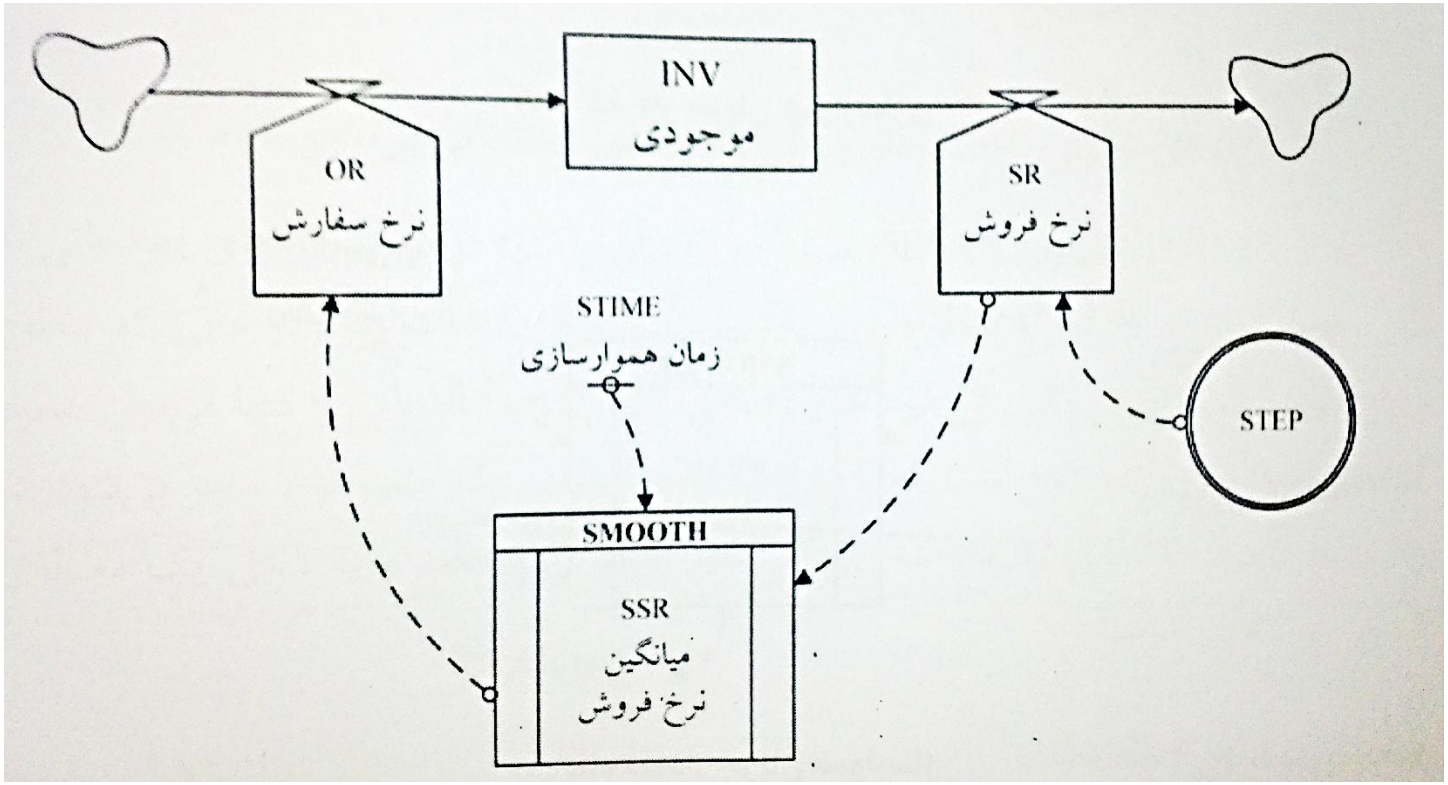


نماد نمودار جریان هموارساز

تاخیرات اطلاعاتی

تاخیرمرتبه اول (هموارسازی اطلاعات)

مثال: در سیستم موجودی سیاست دیگری که می‌توان درنظر گرفت، وابسته کردن نرخ سفارش دهی (OR) به مقدار متوسط نرخ فروش (SR) که با SSR بازنمایی می‌شود، است. این ساختار سیاست در شکل زیر نشان داده شده است.



تاخیرات اطلاعاتی

تاخیرمرتبه اول (هموارسازی اطلاعات)

و معادلات این مثال:

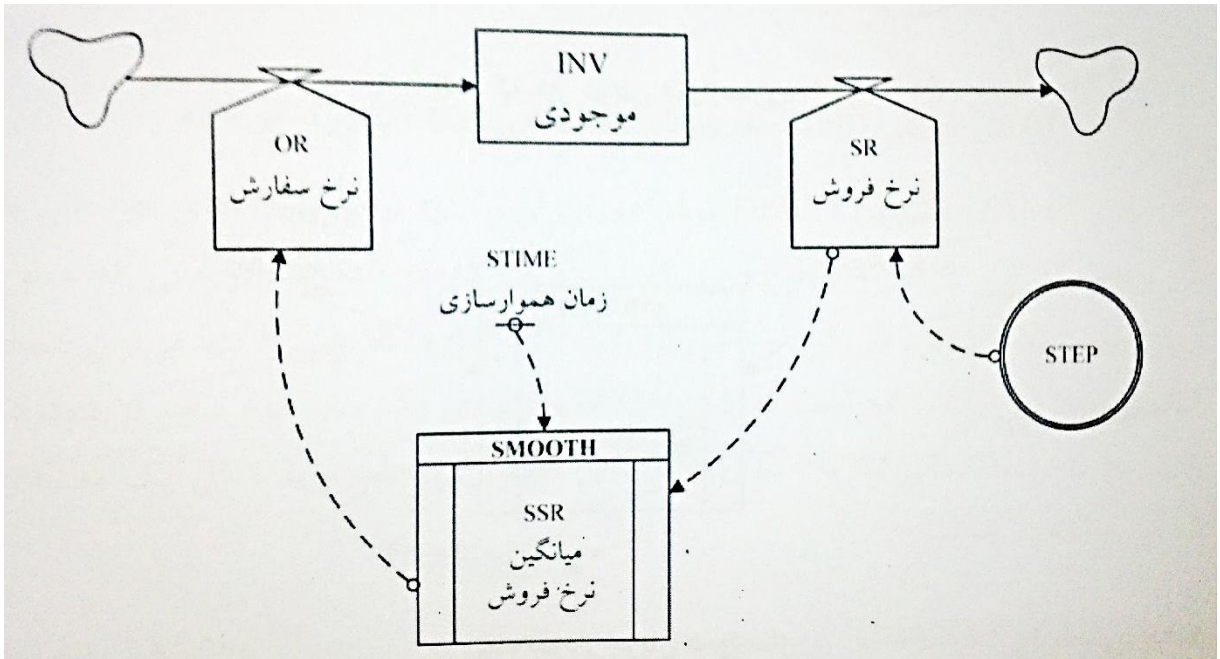
L INV.K=INV.J + DT×(OR.JK–SR.JK)

N INV=DINV

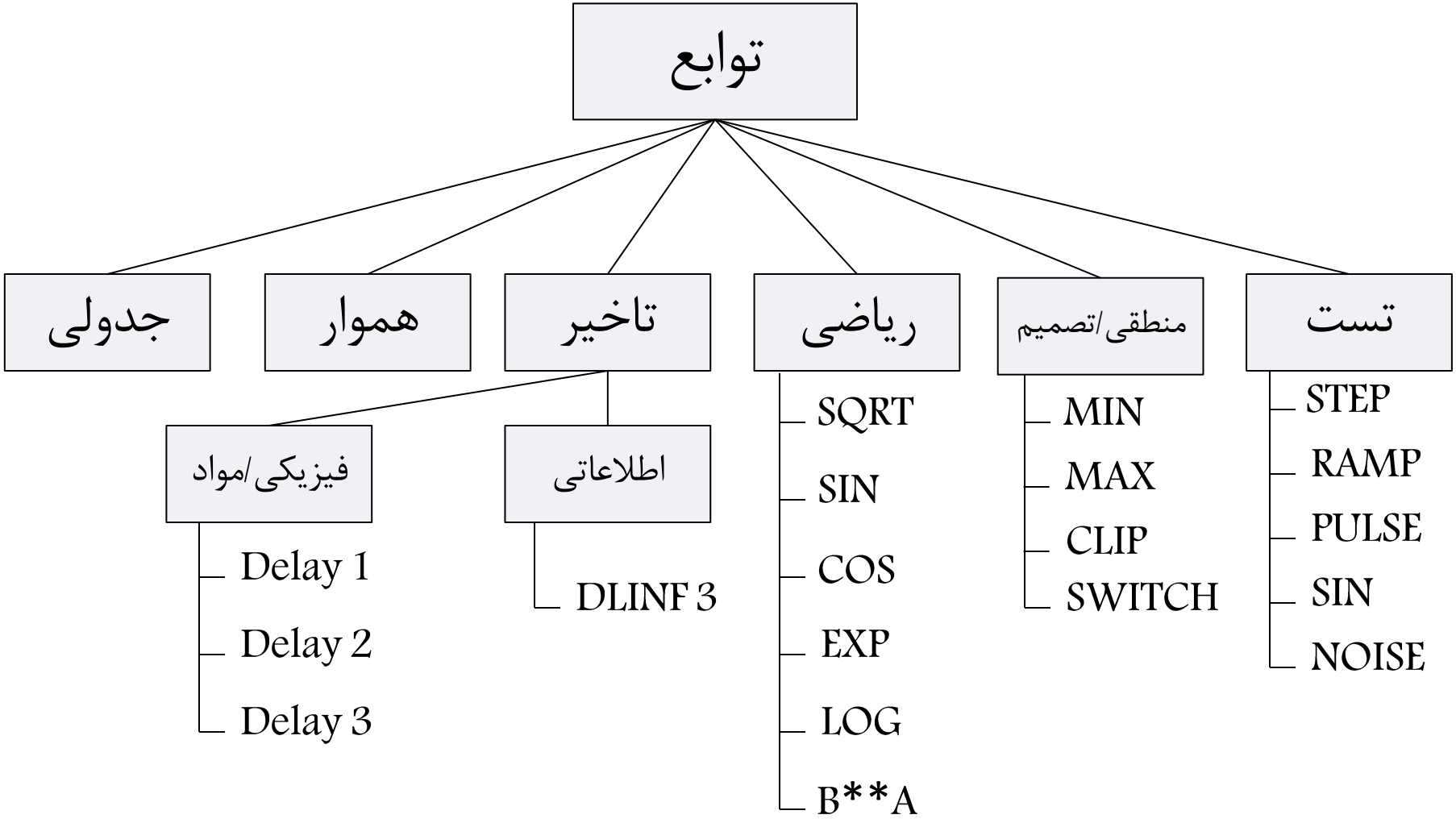
C DINV=200

A SSR.K=SMOOTH(SR.JK،STIME)

R OR.KL=SSR.K



توابع متداول در مدل سازی پویایی‌های سیستم



توابع متداول در مدل سازی پویایی‌های سیستم

SQRT(X)=$\sqrt{x}$
SIN(X)=$\sin x$
COS(X)=$\cos x$
EXP(X)=e^x
LOG(X)=log_e^x
B**A=b^a

توابع ریاضی

توابع منطقی یا تصمیم

تابع MAX:

$$Max(A,B) = \begin{cases} A\,, & if\ A \geq B \\ B\,, & if\ A < B \end{cases}$$

برای محاسبه قدر مطلق نیز داریم:

MAX(A,-A)

تابع MIN:

$$Min(A,B) = \begin{cases} A\,, if\ A < B \\ B\,, if\ A \geq B \end{cases}$$

توابع منطقی یا تصمیم

برای مثال در یک سیستم موجودی در صورتی که نرخ تحویل(SHIP) برابر حداقل تقاضا(DEMAND) و موجودی(INV) باشد، معادله‌ی آن به صورت زیر است:

R SHIP = MIN(DEMAND.K ، INV.K)

توابع منطقی یا تصمیم

تابع CLIP: این تابع برای تغییر مقادیر کمیت‌ها در طول شبیه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$CLIP(A,B,X,Y) = \begin{cases} A\ ,X \geq Y \\ B\ ,X < Y \end{cases}$$

برای مثال در سیستم موجودی، کسر سفارش داده شده در هفته (FOW) در آغاز هفته ی دهم شبیه سازی از ۰/۵ به ۰/۷۵تغییر می‌کند:

A FOW= CLIP(0.75، 0.5، TIME.K، 10)

توابع منطقی یا تصمیم

تابع SWITCH: این تابع شبیه به تابع CLIP است با این تفاوت که در این تابع، مقدار کمیت چهارم(Y) صفر است، یعنی X با صفر مقایسه می‌شود:

$$SWITCH(A,B,X) = \begin{cases} A\ , x = 0 \\ B\ , x \neq 0 \end{cases}$$

توابع منطقی یا تصمیم

برای مثال فرض کنید که در سیستم موجودی باید دو سیاست جایگزین که به ترتیب زیر است توسط مدلساز آزمایش شود:

الف) سیاست موجودی مبتنی بر اختلاف [موجودی واقعی و مطلوب]

A A.K= FOW× (DINV- INV.K)

ب) سیاست موجودی مبتنی بر میانگین نرخ فروش

A B.K= SMOOTH(SR.JK، STIME)

این دو سیاست مختلف را با استفاده از SWITCH که در آن SW برابر یا مخالف صفر است می توان نوشت: (مقدار SW را باید در اجرای مجدد شبیه‌سازی، تغییر داد.)

R OR.KL= SWITCH(A.K، B.K، SW)

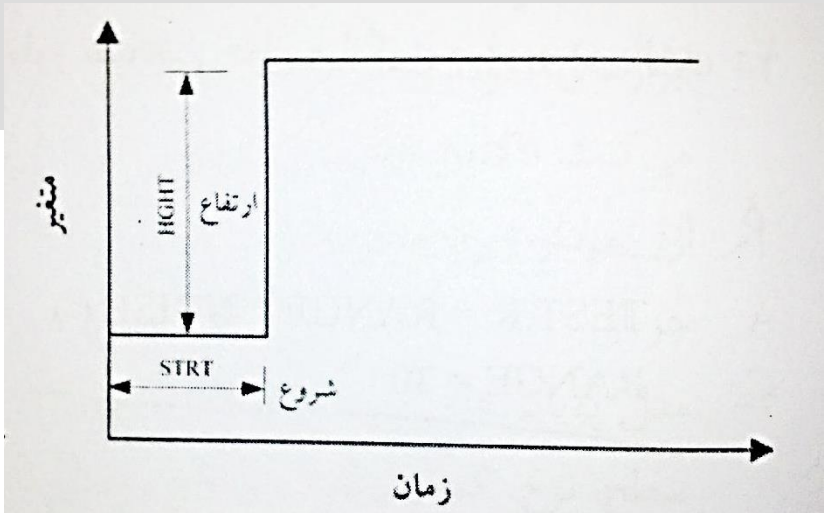
C SW=0

توابع آزمون

این توابع به منظور مطالعه رفتار مدل در برابر انواع مختلفی از اختلالات از قبیل افزایش ناگهانی، افزایش تدریجی، نوسانات و اختلالات تصادفی مورد استفاده قرار می گیرند. برخی از آنها در اینجا معرفی می گردند:

تابع STEP:

STEP(HGHT ،STRT)



توابع آزمون

برای مثال در سیستم موجودی، یک تغییر پلکانی در هفته پنجم به اندازه ۳۰ واحد در نرخ فروش رخ می دهد. این اتفاق به صورت زیر بازنمایی می شود:

R SR.KL= TEST.K
A TEST.K= STEP(HGHT، STRT)
C HGHT= 30
C STRT= 5

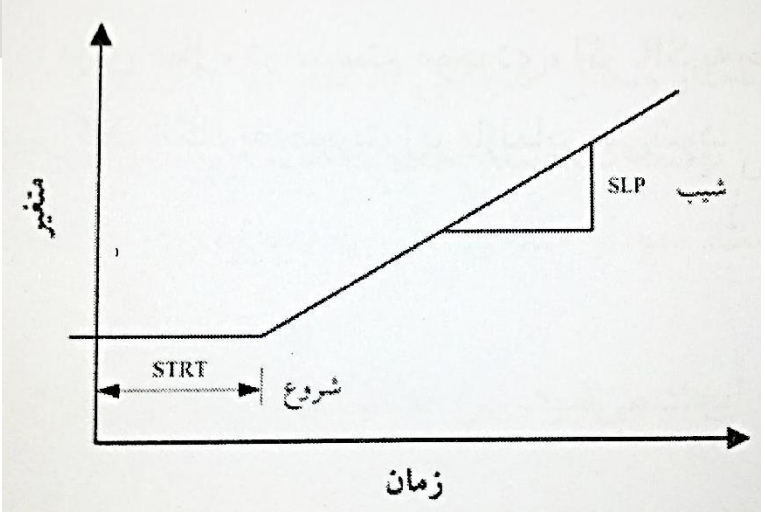
معادله‌ی نرخ فروش را می‌توان به طور خلاصه به صورت زیر بازنمایی کرد:

R SR.KL= STEP(30، 5)

توابع آزمون

تابعRAMP: در این تابع SLP شیب تابع خطی و STRT زمان شروع تغییر خطی است. مقدار RAMP قبل از زمان STRT برابر با صفر است.

RAMP(SLP، STRT)



توابع آزمون

برای مثال در سیستم موجودی در صورتی که SR توسط تابع RAMP با شیب ۰.۵ و زمان شروع هفته پنجم تعیین شود:

```
R   SR.KL= TEST.K
A   TEST.K= RAMP(SLP، STRT)
C   SLP= 0.5
C   STRT= 5
```

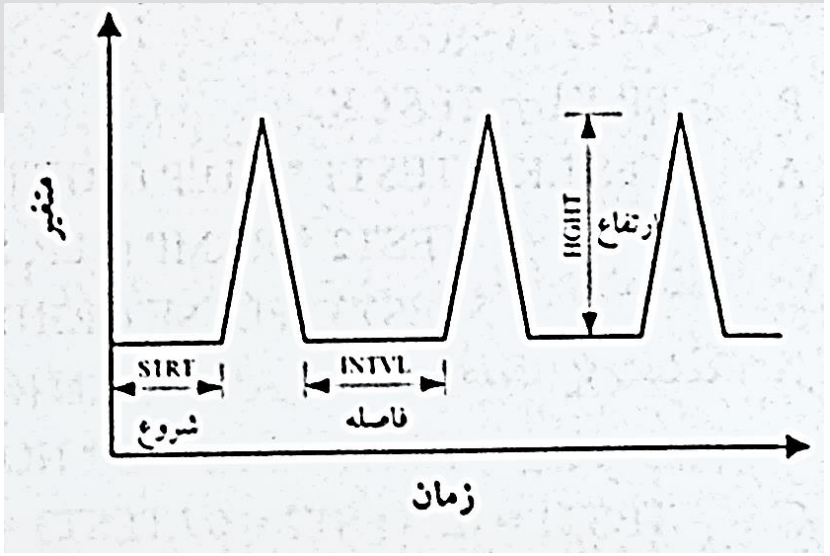
معادله‌ی نرخ فروش را می‌توان به طور خلاصه به صورت زیر بازنمایی کرد:

```
R   SR.KL=  RAMP(0.5، 5)
```

توابع آزمون

تابعPULSE: این تابع باعث ایجاد تکان‌های لحظه‌ای در مدل می‌شود. در این تابع HGHT ارتفاع، STRT زمان اولین تکان لحظه‌ای و INTVL بازه‌ی زمانی بین تکان‌های متوالی است.

PULSE(HGHT،STRT،INTVL)



توابع آزمون

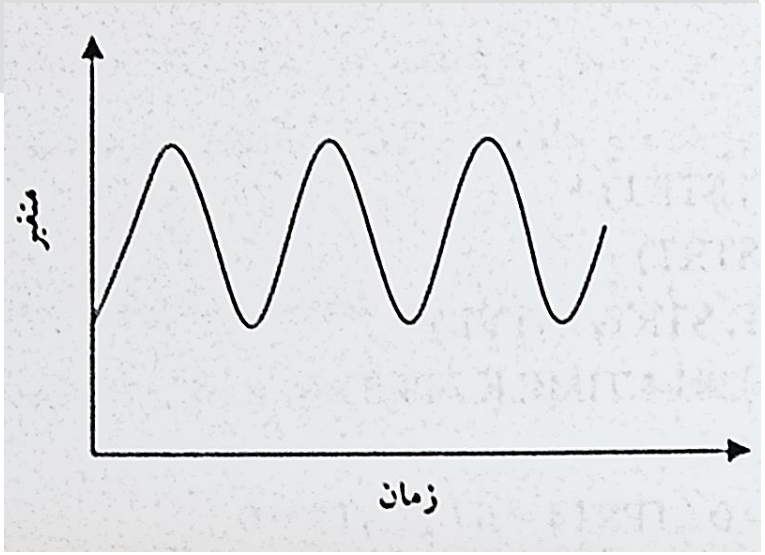
برای مثال در سیستم موجودی، اگر SR(نرخ تحویل) با تابع PULSE به ارتفاع ۳۰ واحد، شروع از هفته پنجم و با بازه ی زمانی ۴ هفته تعیین شود:

R SR.KL= TEST.K
A TEST.K= PULSE(HGHT، STRT، INTVL)
C HGHT= 30
C STRT= 5
C INTVL= 4

توابع آزمون

تابعSIN: در این تابع AMP بزرگی (دامنه‌ی) نوسان، PER دوره‌ی نوسان و ۶/۲۸۳ تقریبی از 2π است.

AMP× SIN (6.283× TIME.K/ PER)



توابع آزمون

برای مثال در سیستم موجودی، SR به صورت تابعی سینوسی با بزرگی ۱۵ و دوره‌ی زمانی ۵ در نظر گرفته می شود. این تابع به صورت زیر بازنمایی می شود:

```
R   SR.KL= TEST.K
A   TEST.K= AMP× SIN(6.283× TIME.K/ PER)
C   AMP=15
C   PER= 5
```

توابع آزمون

تابعNOISE: این تابع یک مولد اعداد تصادفی است. این تابع به دو صورت زیر مورد استفاده قرار می گیرد:
الف)روش تصادفی کاملا بدون الگو که به صورت زیر بازنمایی می شود:

NOISE()

ب)تولید اعداد تصادفی بر روی دامنه‌ی RANGE و حول میانگین MEAN که به صورت زیر بازنمایی می شود:

RANGE* NOISE() + MEAN

اعداد تولید شده در بازه ی (MEAN + RANGE/2) و (MEAN– RANGE/2) قرار دارند.

توابع آزمون

برای مثال در سیستم موجودی، اگر SR به طور تصادفی حول میانگین صفر و در بازه ی ۳۰ تغییر کند آنگاه به صورت زیر بازنمایی می شود:

```
R   SR.KL= TEST.K
A   TEST.K= RANGE * NOISE()
C   RANGE= 30
```

فصل چهارم:

گام های اعمال رویکرد

سیستم های پویا

تحلیل سیستم ها توسط سیستم داینامیک

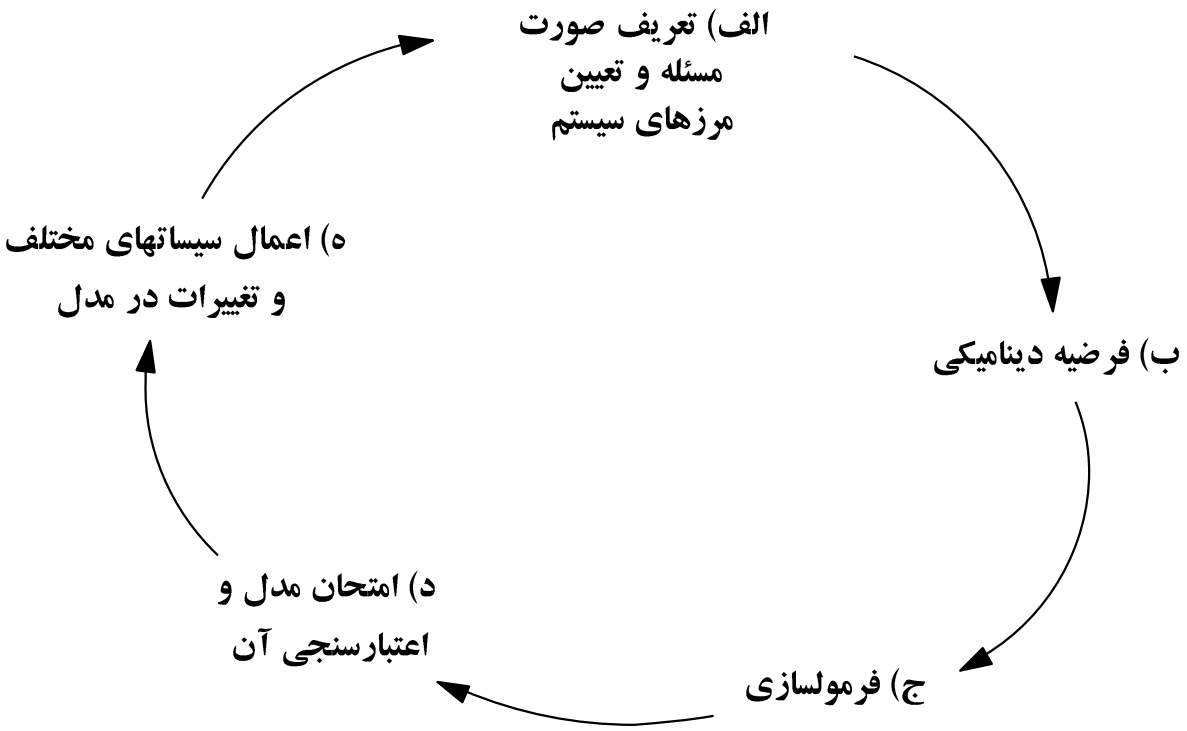
- نرم افزارهای شبیه سازی یکی قدرتمندترین روشها و ابزارهای در خدمت مدیران، مهندسان صنایع، تحلیل گران سیستم ها و ... می باشد که آنها را قادر می سازد قبل از اتخاذ هر تصمیمی در خصوص هرسیستم تولیدی یا خدماتی و یا سیستمهای در دست اجرا و یا در حال کار را مدل و شبیه سازی نموده و بررسی های لازم آماری را در تمامی ابعاد آن، جهت اتخاذ تصمیم بهتر و با هدف کاهش هزینه و افزایش سود یا راندمان به عمل آورند.

گام های انجام یک پروژه تحلیل سیستم

- درک سیستم
- شناسایی و تعریف مسئله
- مفهوم سازی سیستم (روابط علی معلولی-بازخورهای اطلاعاتی)
- صورتبندی مدل (متغیرهای تصمیم-جریان های فیزیکی اطلاعاتی)
- شبیه سازی و اعتبارسنجی
- تحلیل و بهبود سیاست
- اجرای سیاست

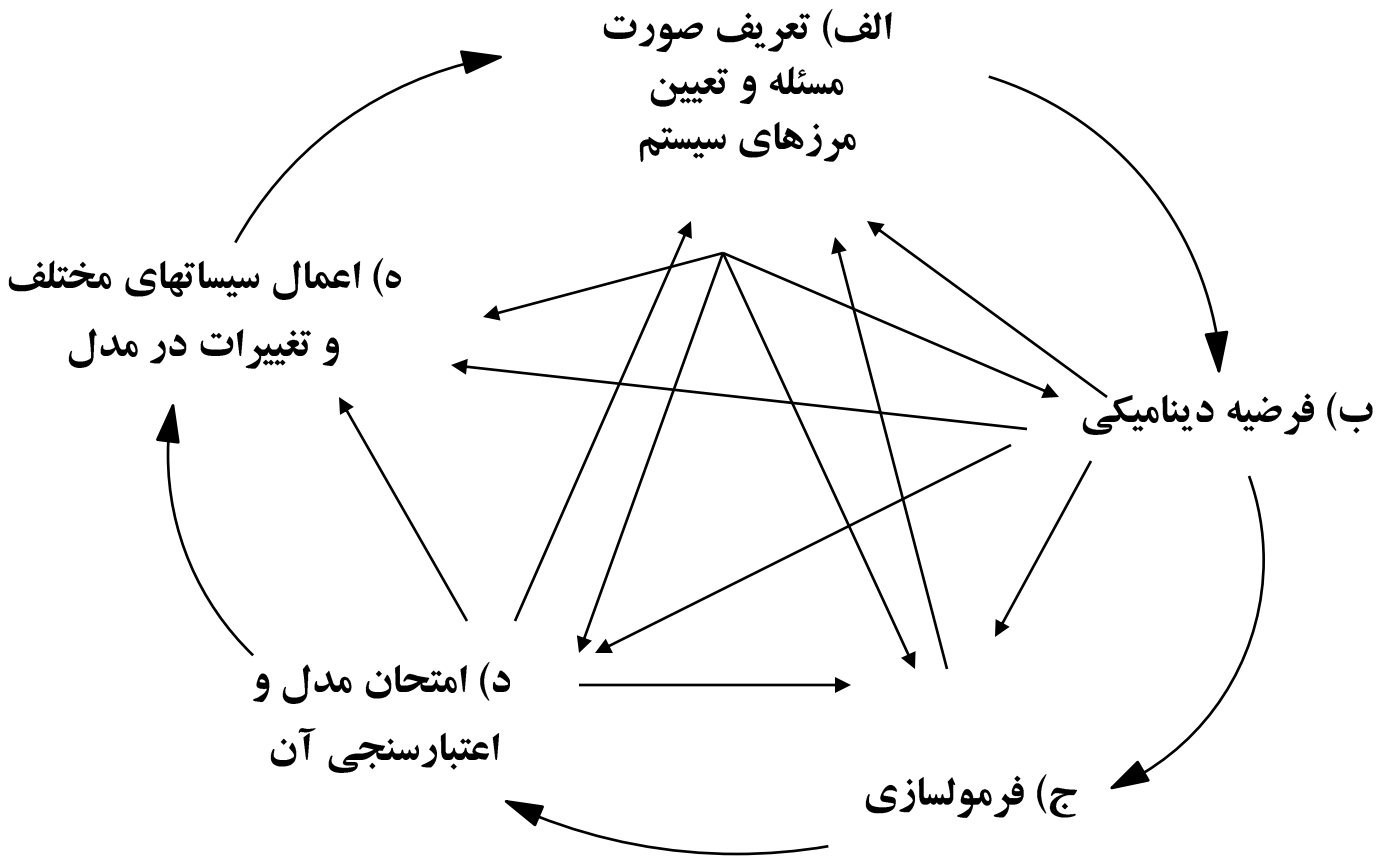
فرآیند مدلسازی، پروسه یادگیری

- فرآیند مدسازی، خود یک پروسه یادگیری است و دارای حلقه های متعدد است.



فرآیند مدلسازی (ادامه)

- مراحل مختلف مدلسازی خود با یکدیگر مرتبط هستند.



تعریف صورت مسئله

- مهمترین قدم در مدلسازی SD، تعریف صحیح صورت مسئله و تعیین مرزهای سیستم است.

- در حقیقت در تعریف صورت مسئله، هدف مدل سیستم معلوم می‌شود. با مشاهده رفتار متغیرهای مورد نظر در سیستم و عدم تطابق رفتار آنها با رفتار مطلوب، صورت مسئله بوجود می‌آید و آن مسئله این است:

عوامل موثر در ایجاد چنین رفتاری چیست؟

فرضیه دینامیکی

نکات کلیدی در ایجاد فرضیه دینامیکی:

1. رفتارهای مرجع:

عوامل موثر در ایجاد رفتار نامطلوب شناسایی می شود. به رفتارهای زمانی عوامل موثر، رفتار مرجع گویند. در شناخت علت ایجاد رفتار نامطلوب و همچنین شناخت سیستم، باید رفتار عوامل موثر مطالعه شود.

فرضیه دینامیکی (ادامه)

2. مرز سیستم:

محدوده عوامل موثر در شناخت رفتار نامطلوب، مرز سیستم را مشخص می کند.

فرضیه دینامیکی (ادامه)

3. افق زمانی مطالعه رفتار متغیرها:

- با توجه به مسئله مورد بررسی، مدلساز باید مشخص کند که رفتار دینامیکی سیستم را تا چه افق زمانی می‌خواهد تحلیل کند. تغییر در افق زمانی می‌تواند باعث عوض شدن صورت مسئله شود.

- کوچک کردن بیش از حد افق زمانی، باعث می‌شود تا سیستم مدل شده به صورت علی-معلولی درآید و روابط دینامیکی و پس‌خوران را از دست بدهد. درحالیکه تاثیر تصمیمات اتخاذ شده در سیستم‌های اجتماعی، سیاسی و اقتصادی معمولا دارای تأخیرهای فراوان است.

فرمولسازی فرضیه دینامیکی

- با استفاده از ادبیات موضوع و تجربیات اشخاص مرتبط با موضوع، روابط ریاضی فرضیه دینامیکی بدست می آید.

- با کمک فرضیه دینامیکی، متغیرهای مدل به سه دسته تقسیم می شود:
  1. متغیر درونی
  2. متغیر بیرونی
  3. متغیرهایی که به مدل ارتباطی ندارند.

فرمولسازی مدل SD

- پس از تعریف صحیح صورت مسئله، مهمترین عمل مدلساز، مفهوم سازی است.

- در بسیاری مواقع، متغیرهای بکار رفته در مدل تعریف مشخصی در موضوع مورد بررسی ندارد و مدلساز با کمک از ادبیات موضوع و متخصصین آن، باید بتواند برای چنین متغیرهایی تعاریف صحیح ارائه نماید.

نمایش مدل SD

- به دو طریق مدلساز می تواند، فرضیه دینامیکی را به تصویر بکشد:

1. نمودار علی-معلولی
2. نمودار جریان

شبیه سازی و اعتبارسنجی مدل پویایی های سیستم

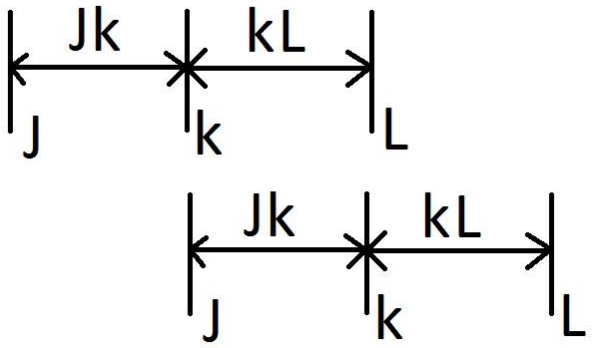
- برآورد پارامترها
  - آگاهي و دانش دست اول و مستقيم از يک فرآيند
  - داده هايي در مورد روابط منفرد در يک مدل
  - داده هايي در مورد رفتار کلي سيستم
- سنجه هاي ثابت مانند کل منابع مالي يک شرکت ، ظرفيت توليد
- عامل هاي تبديل که يکاي اندازه گيري معيني را به يکاي ديگر تبديل مي کنند. که براي ارتباط بين دو زير سيستم مورد استفاده قرار مي گيرند.
- پارامترهاي نرمال مانند تاخير نرمال تحويل ماهيت هنجاري دارند و معمولا از روابط ديگر به دست مي آيند مانند موجودي مطلوب

- **عامل هاي رشد** پارامترهايي مانند نرخ استهلاک يا بهره که با رشد يا کهنه شدن مرتبط هستند.
- **زمان انطباق** اين پارامترها از ماهيت ادراکي تري برخورداند و انطباق يا سازگاري سيستم را تعريف مي کنند. به عنوان مثال تاخيرات ادراکي مربوط به زمان يادگيري
- **پارامترهاي سياسي** پارامترهايي مانند کسر سفارش در هفته ، کسر سرمايه گذاري ساليانه که تحت کنترل مديران است. پارامترها از ماهيت ادراکي تري برخورداند و انطباق يا سازگاري سيستم را تعريف مي کنند. به عنوان مثال تاخيرات ادراکي مربوط به زمان يادگيري

شبیه سازی و اعتبارسنجی مدل پویایی های سیستم

- تعیین مقادیر آغازین متغیرهاي سطح
  - تطابق با شرایط تاریخي
  - ایجاد تعادل
  - مقداردهي آغازین براي رشد

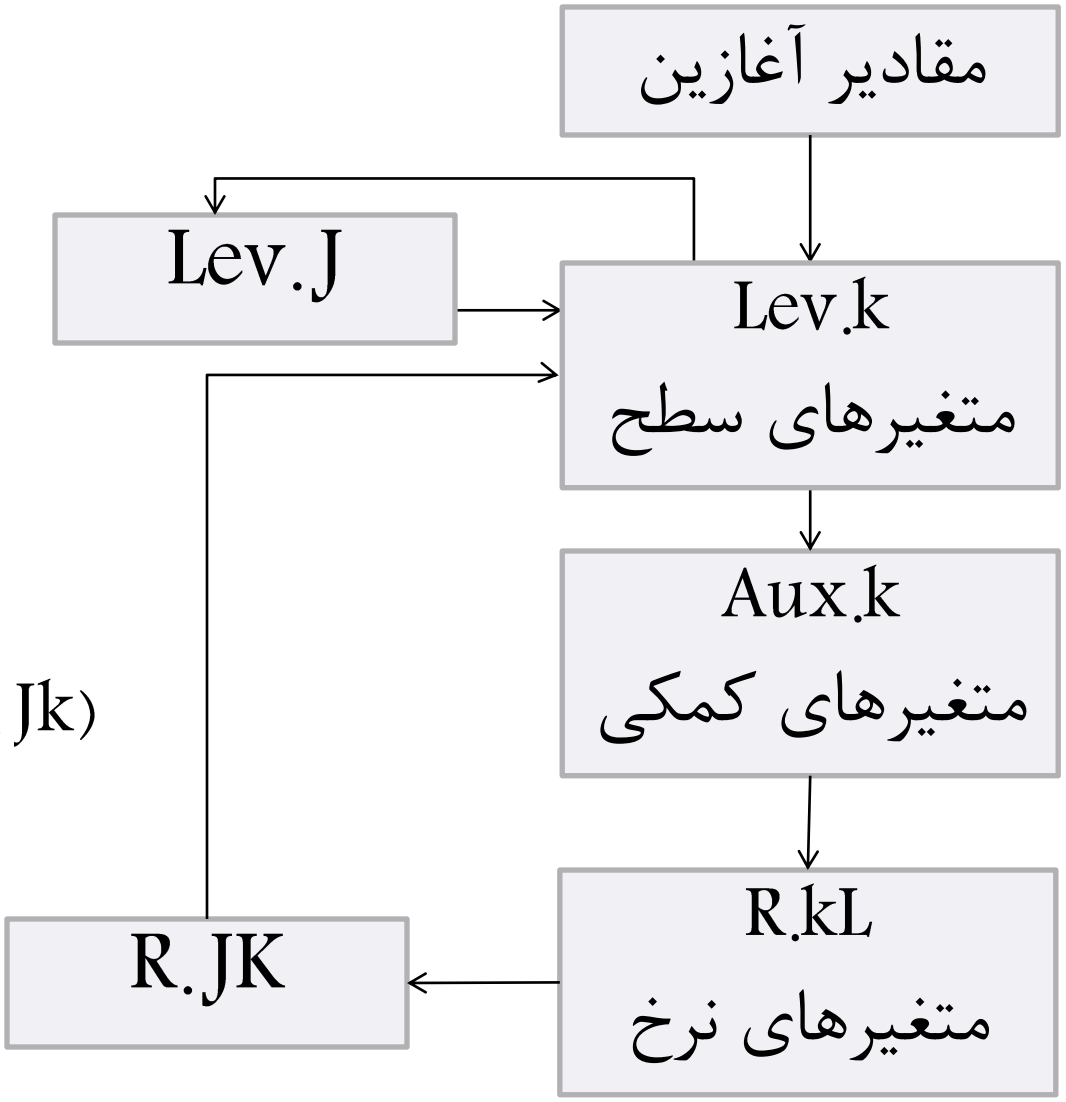
توالی محاسباتی نرم‌افزارهای شبیه سازی



$$Lev.k = Lev.J + DT(R.Jk)$$

$$R.kL = f(Lev.k, Aux.k, R.Jk)$$

$$Aux.k = f(Lev.k)$$



تست مدل

- برای اطمینان از صحت مدل روشهای مختلفی در اعتبار سنجی مدل وجود دارد.
- مهمترین روش، تست مدل است. مدل ریاضی بدست آمده باید همان رفتارهای نامطلوب را تولید کند.

تعیین سیاست و اصلاح مدل

- در مرحله آخر، مدلساز باید یا با پیشنهاد سیاستهای مختلف در تغییر پارامترهای بیرونی و یا با اصلاح ساختار درونی سیستم، مدل را اصلاح کند تا رفتار مطلوب ایجاد شود.

- ظرافت در این قسمت، یافتن نقاط کلیدی در مدل است تا با کمترین هزینه رفتار مدل اصلاح شود.